

KUNGL. SKOGSHÖGSKOLANS SKRIFTER

BULLETIN OF THE ROYAL SCHOOL OF FORESTRY

STOCKHOLM, SWEDEN

Nr 20

Redaktör: Professor OLOF TAMM

1955

VATTNET I SKOGSMARKEN

Studier med hänsyn särskilt till ytvattnets,
sjunkvattnets och grundvattnets uppkomst
och sammansättning

DAS WASSER DES WALDBODENS

Studien mit besonderer Berücksichtigung der Entstehung
und der chemischen Eigenschaften des Oberflächenwassers,
des Sickerwassers und des Grundwassers

Av

TRYGGVE TROEDSSON



NORRTÄLJE 1955.

NORRTELJE TIDNINGS BOKTRYCKERI AB

VATTNET I SKOGSMARKEN

STUDIER MED HÄNSYN SÄRSKILT TILL YTVATTNETS,
SJUNKVATTNETS OCH GRUNDTVATTNETS UPPKOMST
OCH SAMMANSÄTTNING

DAS WASSER DES WALDBODENS
STUDIEN MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER ENTSTEHUNG
UND DER CHEMISCHEN EIGENSCHAFTEN DES OBERFLÄCHEN-
WASSERS DES SICKERWASSERS UND DES GRUNDWASSERS

Av

TRYGGVE TROEDSSON
FIL. LIC.

AKADEMISK AVHANDLING
SOM MED TILLSTAND AV MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA
FAKULTETEN VID STOCKHOLMS HÖGSKOLA FÖR VINNANDE AV
FILOSOFISK DOKTORSGRAD FRAMSTÄLLES TILL OFFENTLIG
GRANSKNING Å LÄROSAL III LÖRDAGEN DEN
26 MARS KL 10 FM.

Förord

Föreliggande arbete utgör en sammanfattning av de studier rörande vattenfaktorn i skogsmarken, som jag bedrivit vid Skogshögskolans avdelning för skoglig marklära sedan 1949. Till en början var avsikten närmast att undersöka den geologiska miljöns inverkan på grundvattnets halt av olika växtnäringssämnen. Härvid kom jag emellertid på ett tidigt stadium in på problem rörande vattenbalansen i skogsmarken. För att tränga in i eller lösa dessa problem kräves ingående kännedom om ytvattnets, sjunkvattnets och grundvattnets förekomst och egenskaper. — Av undervisningsskäl kom jag att vistas långa tider vid Skogshögskolans förläggning på Bjurfors kronopark. Härigenom blev det möjligt för mig att ingående lära känna ståndortsförhållandena inom kronoparken, vilken kommit att bli huvudlokalen för mina fortsatta undersökningar. I tvenne arbeten (1952, 1954) har jag lämnat ingående redogörelser dels för jordartsförhållandena inom Bjurforsområdet och dels för de kemiska egenskaperna hos dess grundvatten i relation till andra, mineralogiskt olikartade moränområdets. Kompletterande försök ha emellertid måst utföras på ett flertal andra lokaler i framför allt södra och mellersta Sverige. Observationsdata insamlas fortfarande från vissa lokaler rörande vattnet i skogsmarken och så kommer att ske även under de närmaste åren.

För genomförandet av dessa undersökningar står jag i största tacksamhetsskuld till min chef, professor O. TAMM, som välvilligt stött mig i mitt arbete. Många äro de resor vi gjort tillsammans, under vilka han städse sökt sätta mig in i de varierande ståndortsförhållanden vi äga i Sverige. Hans tränade blick för skogliga problem och hans stora kunnsighet ha i våra diskussioner varit en outtömlig tillgång för mig i mitt arbete. För allt detta och för det arbete i formellt avseende professor TAMM i egenskap av redaktör för Skogshögskolans skrifter nedlagt i samband med tryckningen av detta arbete får jag härmed framföra mitt värdsamma tack.

Mitt tack går vidare till Skogshögskolans lärarkår, som alltid visat stor förståelse för mina undersökningar och alltid stött mig i mina arbetens ekonomiska genomförande. — Föreståndaren för Statens skogsforskningsinstituts avdelning för botanik och marklära, professor C. MALMSTRÖM, vill jag varmt tacka för värdefulla råd och för att jag fått utföra ett stort antal analyser vid denna institutions laboratorium. I detta sammanhang vill jag även uttrycka min stora tacksamhet till fil. kand., fru K. KNUTSON för all den hjälp jag erhållit genom diskussioner rörande mina kemiska analysmetoder.

Jag står i stor tacksamhetsskuld till statsgeologen, fil. dr G. EKSTRÖM och professorn vid Norges Lantbrukshögskola J. LÅG för värdefulla råd, litteraturuppgifter m. m. — Professor I. HESSLAND har välvilligt låtit mig få använda denna avhandling för disputationssprov i ämnet geologi, trots att den närmast är att betrakta såsom hydrogeologisk. Docent C. O. TAMM, som jag tidvis haft förmånen att samarbeta med, har givit mig många idéer och uppslag, vilka ofta varit av avgörande betydelse för mitt arbete.

Av mina medarbetare på institutionen vill jag nämna amanuensen, fru T. HANSSON och fröken M. WIBERG, som inte bara utfört en stor del av analyserna i detta arbete, utan även varit behjälpliga vid utarbetandet av lämpliga analysmetoder. Utan deras hjälp hade detta arbete svårligen kunnat genomföras. I lika hög grad har fru L. WIBERG varit till ovärderlig hjälp vid renritning, renskrivning etc.

Ett särskilt tack vill jag rikta till alla de observatörer och medhjälpare jag haft vid mina fältarbeten. Jag vill här nämna fröken V. TROEDSSON, herr D. AXELSSON och herr S. JOHANSSON, vilka utfört sina observationer på ett utomordentligt sätt.

Undersökningarna ha kunnat genomföras dels med institutionsanslag och dels med medel ställda till förfogande av Fonden för skoglig forskning. Till nämnda fond vill jag härmed framföra mitt värdsamma tack.

Till sist går mitt tack till min hustru, pol. mag. I. TROEDSSON som inte endast hjälpt mig i mitt arbete genom kritiska diskussioner, fältarbeten, korrekturläsning etc. utan även städse uppmuntrat och stött mig.

TRYGGVE TROEDSSON.

Innehållsförteckning

	sid.
Inledning	7
Kap. I. Metodik	10
1) Laboratoriemetoder	10
2) Fältarbetsmetoder	14
Kap. II. Undersökningsområden	19
Kap. III. Skogsmarkens olika vattenfraktioner	24
Kap. IV. Grundvattnets och ytvattnets kemiska egenskaper i skogsmarken	
1) Inledning	29
2) Provtagningsmetodikens tillförlitlighet	31
3) Grundvattnets kemiska egenskaper i sluttningar	33
4) Grundvattnets kemiska egenskaper inom plana områden	65
a) Bjurforsområdet	65
b) Grenholmenområdet	83
c) Övriga områden	92
5) Grundvattnets kemiska sammansättning inom mineralogiskt olika markmiljö	95
6) Grundvattnets kemiska sammansättning inom olika jordmånstyper	97
Kap. V. Studier över sjunkvattnet	
1) Inledning	99
2) Litteraturöversikt	99
a) Metodik vid undersökningar av sjunkvattnets egenskaper ...	99
b) Lysimeterförsök inom jordbruket	101
c) Skogliga lysimeterförsök	104
3) Lysimeterförsök inom Bjurfors Kronopark	108
4) Lysimeterförsök vid Röskär	120
5) Lysimeterförsök vid Jägarhyddan i Wrå	124
6) Undersökningar rörande klorjonens urlakning i skogsmarken ..	126
7) Markvätskans kemiska egenskaper	130
8) Gödslingsförsök på Mölna försöksfält	136
a) Försöksbetingelser	136
b) Gödslingsytornas läge inom försöksfältet, dess trädbestånd och vegetation	138

	c) Observationer av grundvattenståndet under försöksperioden..	140
	d) Tillförda metallkationers urlakningshastighet	141
Kap. VI.	Nederbördens infiltration i skogsmarken	146
	1) Litteratursammanfattning	146
	2) Fuktighetens fördelning i markprofilen	151
	3) Vegetationstäckets vattenkapacitet	154
	4) Nederbördens infiltrationsvägar	156
	5) Sammanfattning	166
Kap. VII.	Sammanfattande synpunkter på urlakningens kemi	167
Kap. VIII.	Översiktlig redogörelse för vattenfaktorn i skogsmarken	173
	1) Sammanställning av undersökningsresultaten	174
	2) Hydrologiska synpunkter på markens urlakningsförhållanden i Mellansverige	175
	3) Undersökningens resultat från skogligt praktisk synpunkt	181
	Mekaniska jordartanalyser, temperatur- och nederbördsdiagram	188
	Litteraturförteckning	196
	Zusammenfassung	203

Inledning

Skogsmarkernas försumpning var ett viktigt problem som mötte dem, som i slutet av 1800-talet började intressera sig för skogsvård i Norrland. Stubbar och trädrester i torvmarkens bottenlager, vitmossans fläckvisa uppträdanden å fastmarken, torvmarkens stora utbredning etc. voro alla bidragande orsaker till en alltmera spridd uppfattning om att vårt land delvis höll på att försumpas. De vetenskapliga rönen om den post-glaciala varmetidens övergång till ett sämre klimat understödde kraftigt åsikten om att vi befunno oss i en period av ständigt tilltagande fuktighet. Stora dikningsföretag utfördes i Norrland på stora skogsbolags marker, även där vi i dag skulle avråda från all dikning. Det hände t. o. m. att man dikade ut långa lider med översilande vatten genom att anlägga diken vinkelrätt mot lutningsriktningen. Dylika diken påträffas ofta mer eller mindre igenvuxna mångenstädes i norra Sverige och det förekommer t. o. m. på någon enstaka plats att de alltjämt underhållas. Man skall emellertid icke fördöma den åsikt som förorsakat dessa liddikningar. Ett trasigt bestånd utan några vidtagna kulturåtgärder kunde givetvis icke draga nytta av det översilande vattnet. I stället utnyttjade markvegetationen detsamma och gav till resultat en ymnigt förekommande vitmossflora, som gav intryck av en tilltagande tendens till försumpning.

Grundläggande arbeten av framför allt HESSELMAN (1909, 1910, 1928) MALMSTRÖM (1923, 1927, 1931), TAMM (1925, 1927, 1931) och ROMELL (1922) ha givit död åt åsikten om att norrländska skogar skulle allmänt vara på väg mot en fortskridande försumpning.

Bl. a. på grund av dessa forskares arbeten ha under några korta decennier uppfattningarna helt förändrats. Våra vattentillgångar äro begränsade, myrområdena äro icke outtömliga men bilda vattenreservoirer, som under torrperioder troligen äro viktiga för kraftförsörjningen i vårt land. Stadsbebyggelsens tillväxt, förbättrad hygien osv. och det därmed ökade behovet av konsumtionsvatten ha gjort att man icke längre är behjälpt av de vattenkvantiteter, som det lokala grundvattnet förmår att ge. Även rullstensåsarna som i alla tider ansetts ha outtömliga vattentillgångar räcka icke för många samhällens vattenförsörjning.

I södra Sverige, där humiditeten i allmänhet är relativt liten, äro förhållandena i detta hänseende om möjligt mera prekära. Ett exempel härpå utgör Gotland, vars vattenfråga får anses såsom utomordentligt bekymmersam. Även i Skåne äro vattenförsörjningsproblemen dagsaktuella och långt ifrån lösta.

I övriga delar av världen äro mångenstädes dessa frågor av än större betydelse och den litteratur, som f. n. behandlar de minskade grundvattentillgångarna, befinner sig i snabbt tillväxande. I U. S. A. ha grundvattentillgångarna visat sig vara begränsade och dessutom i sakta avtagande, varför långsiktiga prognoser utarbetats (THOMAS 1951) för att om möjligt förhindra den nu rådande misshushållningen med grundvattenförråden. Genom rening av avloppsvattnet kan man minska det årliga grundvattenuttaget med närmare 80 % — en framtidsbild som vi kanske även på vissa håll i vårt land med tiden icke får ställa oss helt främmande inför.

Skogsförsumpningsfrågan upptogs från början (år 1903) på arbetsprogrammet vid dåvarande Statens skogsförsöksanstalt. De ovan nämnda arbetena från denna institution visa emellertid att bekymret var överdrivet och i dag är av allt att döma problemet det motsatta! Vårt lands vattentillgångar äro begränsade och givetvis måste detta även inverka på skogsmarken, där vi vid de senaste riksskogstaxeringarna kunnat påvisa ständigt stigande produktion genom en intensifierad skogsvård. Ökade hektarskördar måste få till följd en större vattenförbrukning och därmed skulle avrinningen minska och våra älvar och floder skulle få minskade tillflöden. I avsikt att studera vattenförbrukningen hos våra skogsträd har STÅLFELT (1944) visat att granens vattenförbrukning i norra Skåne är så hög att intet av nederbörden når grundvattnet i slutna bestånd. Försöken äro verifierade med lysimeterförsök. Det skulle sålunda bli tämligen ödesdigert för vårt lands vattenförsörjning om vi genom skogsvård och genetiska forskningsresultat skulle komma därhän att den för STÅLFELTS granytor gällande produktionen skulle bli genomsnittlig för vårt land. STÅLFELTS resultat äro icke orimliga; många exempel finnas i vårt land och även i litteraturuppgifter från utlandet, där växtliga granbestånd förmå att dränera en fuktig mark. Vid kalavverkning blir marken följaktligen ganska snart fuktigt igen. Från hydrologiskt håll har hävdats (TRYSELIUS 1946) att STÅLFELTS värden icke äro allmängiltiga. Mot dessa senare invändningar står ARRHENIUS' (1952) sammanställning av brunnsanalyser, som uppvisa högre jonkoncentrationer än vad ERIKSSONS (1929) älv- och flodvatten göra. Härmed skulle ARRHENIUS ha påvisat en koncentrerings av de lösta växtnäringsämnen, som skulle kunna tänkas bero på ett årligen avtagande grundvattentillskott.

Dessa åsiktsmotsättningar äro naturliga och kanske icke möjliga att överbrygga förrän vi få veta hur vattnet rör sig i skogsmarken. Skogsmarkens vattenrörelser äro synnerligen komplicerade inte minst beroende på att det vanligen gäller heterogena moränjordar. Varje praktiskt verksam skogsman av i dag vet, att vattenfaktorn är den mest påtagliga ståndortsfaktorn han har att arbeta med. Men vi veta föga om det näringstillskott och de näringsförluster, som vattnet giver upphov till i ett växande skogssamhälle. Med undantag av de grundvattenanalyser från skogsmarken som TAMM lämnat, sakna vi alla uppgifter härom. Än mindre ha vi sjunkvattenanalyser eller yt-vattenanalyser. Bortsett från STÅLFELTS (1944) skogliga lysimeterförsök saknas sådana helt för vårt land, osv.

Det är således icke enbart vattenbalansen, nederbörd — avdunstning — avrinning, som vi för skogens del önska få veta något om, utan det vore också önskvärt att få näringstransporten mellan markytan och grundvattnet utredd. Även mera praktiska krav på upplysning anmäla sig: »Om vi gödslade i skogen, hur mycket skulle vi då förlora genom urlakning?» »Sker näringstransporten snabbt i de grova moränerna?» osv. För jordbrukets del äro förhållandena enklare. De årliga skördarna kunna vägas och jämförande försök behöva bara omfatta något eller några år. I skogsbruket ligger förhållandet helt naturligt icke lika enkelt till.

O. TAMMS (1931 m. fl.) hydrologiska forskningar inom svensk skogsmark ha emellertid givit oss en viss grund att bygga vidare på. Hans rön angående olika markprofilers grundvatten, vattnets dränage i moränmarken, metodik för grundvattenprovtagning i morän etc., etc. utgöra en ingress till lösandet av ovan skisserade problem.

Föreliggande arbete avser ett studium av vattnet i skogsmarken utgående från frågeställningen: Hur stor del av nederbörden når årligen grundvattnet och hur stor är den samtidiga urlakningen av de vanligaste växtnäringssämnena? Problemställningen får ses från två sidor, dels en kemisk och dels en fysikalisk.

Grundvattnet, sjunkvattnet och ytvattnet ha sålunda studerats såväl från kemisk som fysikalisk synpunkt. Fälтарbetet har haft avsevärd omfattning; prov av alla vattenslag ha tagits under vegetationsperioden såväl som under hela året. Fälтарbetena ha därtill omfattat lysimeterförsök, gödslingsförsök, infiltrationsundersökningar osv.

Förf. har dessutom strävat att göra resultaten så allmänt giltiga som möjligt och har därför spritt försöksområdena från Norrlandsterrängens sydgräns till norra Skåne. Inte minst av ekonomiska skäl har det dock hittills varit omöjligt att utöka dessa undersökningar till att omfatta även norra Sverige. Undersökningarna äro emellertid icke avslutade i och med detta arbete, utan ett flertal försök ha det senaste året kunnat placeras i olika delar av Norrland.

KAP. I

Metodik

1. Laboratoriemetoder

Vid studier av sjunkvattnet på laboratoriet har förf. ansett det vara nödvändigt för att erhålla ett representativt sjunkvatten att först vattenmätta ett jordprov och sedan med övertryck pressa ur vattnet. Givetvis vore en annan metod också tänkbar, nämligen att genom bevattning ovanifrån låta destillerat vatten sippra ner genom jordprovet i fråga. Med den senare metoden är det emellertid icke säkert att vattnet kommer att passera jordprovet på ett sådant sätt att de flesta mineralpartiklarna kommer i beröring med det silande vattnet (i fortsättningen anser förf. att begreppet »på bred front» må täcka innebörden av en vattenrörelse som passerar samtliga mineralpartiklar.) Upprepade perkoleringsförsök med dels glascylindrar och dels polyetenslangar ha visat att det praktiskt taget är omöjligt att få vatten, som hålles ovanpå jordprovet att passera jorden på bred front. Pressmetoden medger emellertid detta och dessutom behöver endast förhållandevis små vattenmängder tillsättas, stundom inga alls, dvs. jorden kan pressas i naturfuktigt tillstånd, varför de vid pressningen erhållna halterna böra vara mera karakteristiska för det på bred front rinnande sjunkvattnets sammansättning än ett ovanifrån nedsipprande vatten. Pressmetoden, användbar för att ur jorden pressa den befintliga markfuktigheten, är sedan länge använd. Tidigare trodde man att växterna i huvudsak hämtade sin näring ur den flytande fasen i marken, och förbisåg därvid rötternas direkta jonutbyte med markmineral och kolloider. Markvätskans sammansättning är beroende av de rådande jonbytesförhållandena mellan de till markkolloiderna adsorberade katjonerna och själva markvätskan. Dennas sammansättning är också därjämte starkt beroende av de rådande fuktighetsförhållandena, tillförseln av lösta växtnäringssämnen ovanifrån, mikroorganismlivet och ytterligare andra företeelser. Systemet är synnerligen dynamiskt, och det torde vara tydligt att metallkatjonerna i den utpressade vätskan icke äro fullt representativa för förråden av de olika jonslagen. De valenskrafter varmed jonerna äro bundna vid markkolloidernas yta upphävas icke genom tryckverkan, varför de erhållna mängderna växtnäringssämnen i ett jordextrakt ej avslöjar trädens näringstillgång. Det är ej heller med tanke på att uppnå detta mål, som förf. använt sig av en pressmetod, utan det är som förut nämnts en önskan att studera sjunkvattnets sammansättning i relation till yt- och grundvattnets. Med en tryckmetod är det möjligt att avvattna en jord intill vissningspunkten. Vi veta emellertid

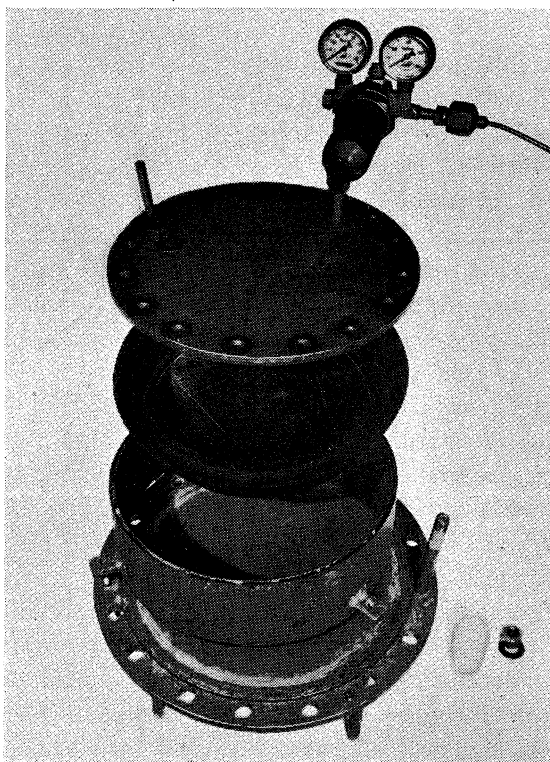


Fig. 1. Apparat för att pressa fram sjunkvatten och kapillärt bundet vatten. Apparaten är en modifierad typ av RICHARDS (1941) m. fl.

Apparat zum Auspressen von Sickerwasser und kapillar gebundenem Wasser. Der Apparat ist eine Modifikation von der Ausführung nach RICHARDS (1941) u. a.

inte om de jonkoncentrationer, som erhållas nära denna punkt, förekomma i ett sjunkvatten. Det gäller därför att mäta vid vilken fuktighetshalt markvattnet upphör att bilda »sjunkvatten» och kvarbliver som kapillärvatten. Genom att analysera markvätskan dels då den förekommer som kapillärvatten och dels då den rör sig som sjunkvatten, skulle man kunna få upplysningar om sjunkvattnets egenskaper till skillnad från kapillärvattnets. Med hjälp av den s. k. pF-skalan (definition av pF, se kap. V: 7) får man en uppfattning om olika jordarters vattenhalt i gränsområdet mellan det rinnande eller sipprande markvattnet och det kapillärt bundna. Ett flertal tillförlitliga pressmetoder finnas av bl. a. PARKER (1921), BURD & MARTIN (1924, eg. förbättrad metod enl. PARKER), RICHARDS (1941) m. fl.

Förf. har använt sig av en modifierad typ enligt RICHARDS 1941 och REITEMEIER & RICHARDS 1944. Konstruktionen framgår av figur 1.

Behållaren är 30 cm i diameter och 10 cm hög. Den fuktighetsmättade jorden lägges

på ett cellophanmembran ovanpå den lösa bottenplattans fastlödda mässingsnät. En gummisäck läggs ovanpå jorden och med 16 bultar skruvas tryckkammaren ihop. Tryckkammaren är beräknad för att hålla ett tryck av 50 kg/cm^2 ($pF=4,7$). Över manometern är gummisäckens övre del ansluten genom en nippel på tryckkammarens lock till en vanlig luftbomb. De på bilden synliga manometrarna visa dels trycket i bomben och dels i kammaren. För mätningar av trycket i kammaren har ett flertal olika manometrar använts bl. a. med hänsyn till att förf. även arbetat med låga tryck, vilket är erforderligt för att få fram enbart sjunkvattnet. Klockan mittemellan manometrarna på figuren användes för att reglera trycket i kammaren.

Vid genomsläpplighetsförsök har förf. använt sig av polyetenslang, som packats med morän. Slangarna har haft antingen 6 eller 12 cm diameter. Slangen har i botten täppts till med en kork som varit perforerad med ett flertal glasrör. Jorden har sedan vattenmättats dels genom att sänkas ner några cm i vatten och dels genom att mättas med vatten ovanifrån. Försök med mättnings ovanifrån visar att fördelningen av vattnet sker synnerligen ojämnt. Dels har mättade litiumkloridlösningar använts och dels har fuktighetshalterna på olika djup bestämts, och det visar sig att först efter det att 2 à 3 liter runnit igenom hela pelaren erhålles en jämn fuktighetshalt och en likartad Li-fördelning. Polyetenslangen äger den stora fördelen att kunna skäras upp i tunna skivor, varför kontroller av detta slag äro lätta att genomföra. Med LiCl-lösning underifrån erhöles tämligen snabbt en likartad fördelning av litiumjonerna i hela provet. Förlusterna av litiumhaltigt vatten vid perkolerings uppförande blevo så stora, att förf. fann det nödvändigt att använda metoden med mättnings underifrån för erhållande av ett på bred front kommande sjunkvatten. Man bör faktiskt erhålla ett sannare värde på jonkoncentrationerna efter pressning i det på bred front perkolerande sjunkvattnet, än vad som kan fås genom att låta vatten perkolera ovanifrån ner genom jordpelaren. Det vatten som hälls över jorden överst i en jordpelare behöver ej gå ned på bred front, utan dels utnyttjar det givetvis sprickor för att sjunka ner i den ofullständigt packade jorden och dels sipprar det utmed väggarna av polyetenslangen. Förf. har således låtit samtliga jordprov, som pressats (för att erhålla sjunkvatten), först uppnå full vattenmättnad i en polytenslang genom tillförsel av vatten underifrån.

De kemiska analysmetoderna ha nödvändigtvis måst utformas för bestämning av mycket låga jonkoncentrationer. Undersökningarna ha nämligen bedrivits under hela året, varav följt att vattenprovtagning även skett vid flera minusgrader. Men hänsyn till den långsamhet varmed vattnet suges upp har förf. några gånger måst nöja sig med 25—50 ml. En sådan mängd räcker möjligen till för att bestämma ledningsförmåga, Ca, K, Na och pH. Följaktligen har inte alla de joner som ur näringssynpunkt får anses såsom utomordentligt betydelsefulla, kunnat medtagas. Analyser av fosforsyra, bor, koppar, zink m. fl. har icke varit möjliga. Då detta arbete även måst behandla vattenfaktorn i skogsmarken från andra synpunkter än de rent kemiska, har en bestämning av flera joner tillsvidare fått anstå.

Kiselhalten är bestämd kolorimetriskt med ammoniummolybdat enligt SCHWARTZ (1942).

Med hjälp av korrektionskurvor för järn har aluminium kunnat bestämmas med aluminon (Standard methods... etc. 1946). Järn har bestämts med ortho-phenanthroline-metoden enl. SANDELL (1950), mangan med ammoniumperoxidisulfat enligt NYDAHL (1949) och magnesium med titangult enligt SANDELL (1950). Vid magnesiumanalyser ha korrektionskurvor använts vid höga kalciumhalter.

Natrium, kalium och kalcium har efter tillsats av HCl direkt kunnat bestämmas lågfotometriskt med den av C. O. TAMM (1953) använda apparaturen. Vid höga aluminiumhalter har dels korrektionskurvor kunnat användas för kalciumbestämningar och dels har gravimetriska bestämningar skett med ammoniumoxalat enligt HILLEBRAND & LUNDELL (1929, s. 501).

Cl-analyserna ha i princip utförts enligt JANDER och PFUNDT (1945 s. 86). Metoden är konduktometrisk, och med hänsyn till den synnerligen ringa volymen av de erhållna vattenproven som stått till förfogande har metodiken tillämpats så att Cl-halten kunnat bestämmas på 3—5 ml vattenprov. Denna varierande vattenmängd är beroende på vattenprovets Cl-koncentration. I de undersökta vattenproven bör Cl-halten ej understiga 1,8 mg/l. Vid lägre halter gör silverkloridens löslighet sig märkbar. I det diagram som erhålles då ledningsförmågan sättes utefter ordinatan (reciproka ohm) och reagenstillsatsen (silverniträt) utefter abskissan, urskiljas såsom räta linjer dels en fällningslinje och dels en reagenslinje. Vid alltför utspädda lösningar får man ett för stort, böjt övergångsparti mellan de båda räta linjerna så att den extrapolerade skärningspunkten mellan dessa blir alltför osäker. I de fall då Cl-koncentrationen låg ej alltför mycket under 1,8 mg Cl/liter var det möjligt att genom tillsättning av en känd klorhalt (t. ex. 0,5 ml 0,001-n KCl-lösning) bestämma dessa halter.

Vattenprovets ledningsförmåga (κ_{20°) bör helst ej överstiga $100 \cdot 10^{-6} \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Utspädning av vattenproven, om dessa visa för hög ledningsförmåga, kan givetvis endast ske då klorkoncentrationen så tillåter. Varje kloranalys utföres på c:a 1 timme beroende på den förhållandevis långa reaktionstiden vid titreringen. Analystiderna ha kunnat förkortas avsevärt genom att flera elektrodkärl samtidigt anslutits förmedelst en omskiftare till filosofkopet (Philips Typ GM 4249). Ringelektrodkärl enl. JANDER och HARMS (1935 s. 271) kom till användning. Förf:s kärl möjliggjorde titrering av 5—8 ml lösning (Kärlkonstant omkr. 0,1).

Vid försöken användes 0,01-n silvernitratlösning som tillsattes ur Agla-mikrometerbyrett, med vilken man kan mäta volymer ned till 0,001 ml med en noggrannhet av $\pm 0,00005 \text{ ml}$.

Totalkvävet bestämdes i huvudsak enligt TOMKIN & KIRK (1942 resp. KIRK 1950) med Kjeldahls metod, vilken dessa författare ha bearbetat för kvävebestämningar i ultramikroskala. Metoden tillåter enl. dem bestämningar av $0,5\text{--}20 \cdot 10^{-6} \text{ g}$. Analysen försiggår i trenne huvudmoment. 1) Allt kväve överföres till NH_4^+ medelst svavelsyra och kopparselenit som katalysator. 2) Diffusion av NH_3 sker i ett slutet kärl (ett

päronformat kärl, rymmande c:a 15 ml totalt, vars bredare del är förlängd till en hals. Dennas öppning tillslutes med en gummipropp, och i denna sitter en dropphållare fastgjord) efter tillsats av NaOH. Den frigjorda ammoniaken absorberas i dropphållarens syradroppe. 3) Titring av nämnda droppe med NaOH, varvid metylrött användes som indikator. Vid titringen infördes CO₂-fri luft genom en kapillär till droppen, varvid samtidigt omröring erhöles.

Metodens tillämpning tillät ej noggrannare bestämningar än $\pm 0,1$ mg tot. kväve per liter (fel. best. med dubbelprov.) Lägre halter än 0,2 mg/liter kunde ej bestämmas. Den vattenmängd som användes för varje analys utgjordes av 5—10 ml.

I fältet har såväl två- som trevärt järn samt syre bestämts enligt O. TAMM (1931).

Ledningsförmågan (κ) har bestämts vid 20° C (i konstantrum) och korrektion har utförts för låga pH-värden. pH har bestämts enligt KÜHNs kolorimetriska metod.

Elektrodialysförsök, katjonutbytesbestämningar m. m. är i förekommande fall beskrivna i det följande i samband med försöksomständigheterna.

2. Fältarbetsmetoder

Provtagningar av grundvattnet har skett i överensstämmelse med den metodik O. TAMM (1925) meddelat (Jfr även ROMELL 1922). Ett mässingsrör med 4,5 mm i diameter, vari finnes införd en stålkärna, någon cm längre än själva röret, drives med hjälp av en hammare ner i marken till 2 à 3 meters djup. Med hjälp av en jordbör underlättas nedförandet av mässingsröret genom de översta, ofta steniga markskikten. Stålkärnan drages upp och vattenproven sugas fram med kvicksilverpump. Provtagning sker i 20 ml glasflaskor med inslipad propp när det blott är fråga om syre- och järnbestämning. Om så är möjligt suges sedan upp c:a 500 ml, vilket räcker för övriga kemiska analyser. Oftast är det emellertid förenat med stora svårigheter att erhålla vatten ur de sandig-moiga moränerna och vintertid är det otänkbart att få upp så stor mängd, ty det kan taga ett par timmar i anspråk bara för att erhålla 75—100 ml. Till en början användes vanliga buteljglas för provens förvaring, men de senaste åren har s. k. polyetenflaskor enbart använts. Förutom att dessa flaskor äro kemiskt resistent, äro de lätta och bekväma att handhava och frysa icke sönder. Provtagningsrören ha vanligen stationerats permanent inom försöksområdena med hänsyn till att provtagningar skulle ske upprepade gånger under året. Dessutom tager det ofta lång tid i anspråk att nedföra rören i marken varför någon annan utväg ej varit möjlig. Nackdelen blir att provtagningsnivåns relation till den oscillerande grundvattennivån ej blir densamma vid olika provtagningsstillfällen. Kontrollundersökningar ha gjorts över de felkällor som härvid kan tänkas uppstå (se kap. IV: 2). I de först uppsugna små volymer har vanligen en högre elektrolythalt förefunnits än i senare, beroende på att det vatten som länge stått stilla i rören fått sin sammansättning påverkad. Först när elektrolythalten i vattnet efter en tids sugning blivit konstant, har provtagning skett. Därvid vinner man också att kvicksilverpumpen blir sköljd mellan varje provning. Å and-

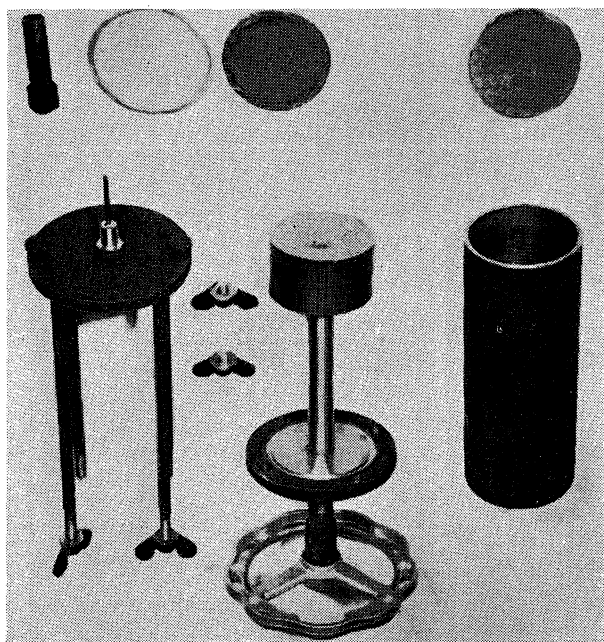
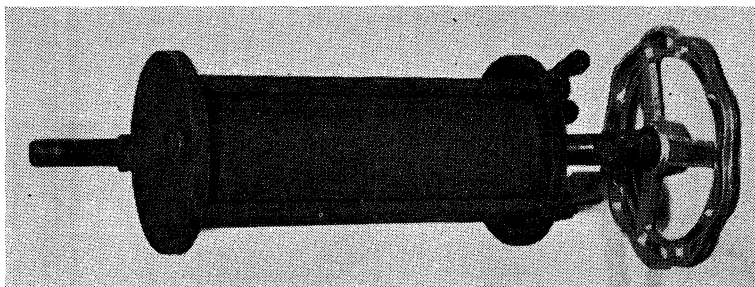


Fig. 2. Apparatur för urpressning av markvätskan i fältet.
Apparatur zum Auspressen der Bodenfeuchtigkeit im Felde.

ra sidan är det helt små mängder vatten; som man har möjlighet att få upp exempelvis vintertid, då det varit ända till 17 minusgrader. Upptining av rör och slangar sker under vintern med hjälp av blåslampa.

På laboratoriet har (se fig. 1) sjunkvattnet utdrivits ur jordproven med hjälp av en pressapparat som beskrivits enligt ovan. För kontroll av de vattenfraktioner som härvid erhållas har även pressning av jordproven skett i fältet med den apparat som synes å fig. 2. Med hjälp av ett stativ är apparaten lätt att handhava. Nackdelen med densamma är att de vattenmängder som erhållas vid varje press-

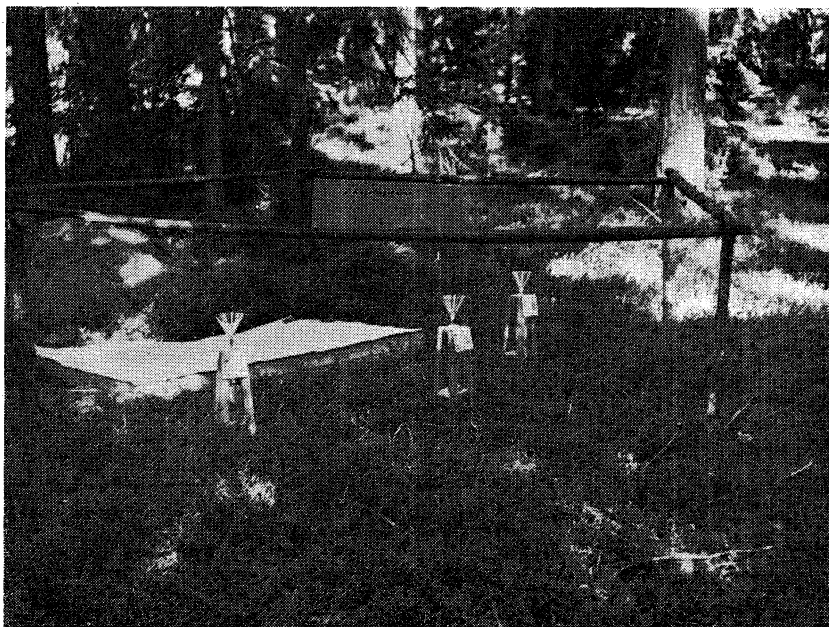


Fig. 3. Lysimeterförsök å Bjurfors kronopark. På bilden synes taket, som täcker gro-
pen med lysimetrarna. Regnmätarna äro tre st. De omgärda den markyta
varunder lysimetrarna finnas inskjutna.

*Lysimeterversuch im Staatsforst Bjurfors. Auf dem Bilde sieht man das
Dach, welches die Grube mit den Lysimetern bedeckt. Drei Regmesser
sind aufgestellt. Sie umgeben die Bodenfläche, unter der sich die Lysimeter
befinden.*

ning äro små, (eftersom blott 750 ml jord får plats i behållaren). För att erhålla rena vattenprov har som membran använts vanligt filterpapper (OOH). Någon tryckmätare har icke använts för att mäta det tryck varmed vattnet pressas ut ur jordproven.

Vattneståndsmätningar ha skett i galvaniserade järnrör med yttre diameter av 20 mm och inre 16 mm. Rören äro skodda nertill med en spetsig propp, som gängats fast i rörets nedre del. Endast rörets nedre del — icke proppen — är perforerad, så att vattnet lätt kan tränga in i röret. Överst på röret sitter en skiva (10 cm i diameter), så konstruerad att den kan sättas fast som ett tak över röret.

För uppsamlandet av rinnande grundvatten har särskilda celluloidskivor kommit till användning, som beskrivas i kap. IV: 3. Humus- och jordproverna ha särskilt för vattenhaltens bevarande insamlats i plastemballage.

För uppsamling av sjunkvatten har på förslag av docenten C. O. TAMM en lysimeterkonstruktion kommit till användning, som ursprungligen utarbetats av EBERMAYER. Konstruktionen framgår av nedanstående bilder (fig. 3—5). Fördelen av denna konstruktion är att den är förhållandevis billig i inköp medan nackdelen är att tätta observationer måste ske och att livslängden är tämligen begränsad.

Lysimetrarna installeras i en $2 \times 1,2$ m stor och c:a 2 m djup grop. Skogsmarken lämnas helt orörd på en sida av gropen. I väggen på denna sida slås vinkelböjda, rostfria plåtar in i marken. Dessa plåtar luta in mot gropen och förmedelst böjningar i plåtens utsida förhindras avrinning åt sidorna. Allt vatten som når plåten måste ofelbart komma i uppsamlingsflaskan (se fig. 4). Med löpande numrering ha alla förväxlingar av vattenprov kunnat undvikas. Rännorna äro ända till 1 m långa och ca 40 cm breda. På figuren äro vissa rännor förhållandevis långt ute, medan andra äro nästan helt inslagna. Detta förhållande beror på att stenar av större format oftast hindra en fullständig inslagning av rännan i markprofilen. Förf. har icke velat taga ut rännan igen och göra ett nytt försök eller ev. plocka bort större stenar. Ett sådant förfarande skulle nämligen förorsaka störningar i markprofilen och därmed på ett eller annat sätt kunna påverka avrinningsförhållandena. Undantag från denna regel ha måst göras i sådana fall där moränen varit alltför blockrik.

Sedan rännan slagits in, klädes gropen på den sida rännorna sitta inslagna med en duk av plast. Denna duk förhindrar avdunstning utan att kemiskt påverka sammansättningen av det sjunkvatten, som till äventyrs rinner utmed duken. I plastduken göres hål för ränna och ovanpå plastduken tryckes en masonitskiva. Masonitskivan fasthålls med en träkonstruktion uti gropen. Framför rännan placeras uppsamlingskärlen, som till en början bestodo av polyetenflaskor. På fig. 4 är en plastduk uppveckad under rännans nummerskiva. Denna plastduk, som återfinnes vid varje ränna, har vecklats ut



Fig. 4. Bilden visar två lysimeterrännor med uppsamlingsflaskor. Plastdukar ligga upprullade ovan rännan, men täcka i vanliga fall såväl ränna som uppsamlingsflaska.

Das Bild zeigt zwei Lysimeterrinnen und Flaschen zum Aufsammeln des Wassers. Die oberhalb der Rinne aufgerollten Plasttücher bedecken sonst sowohl Rinne wie Flasche.

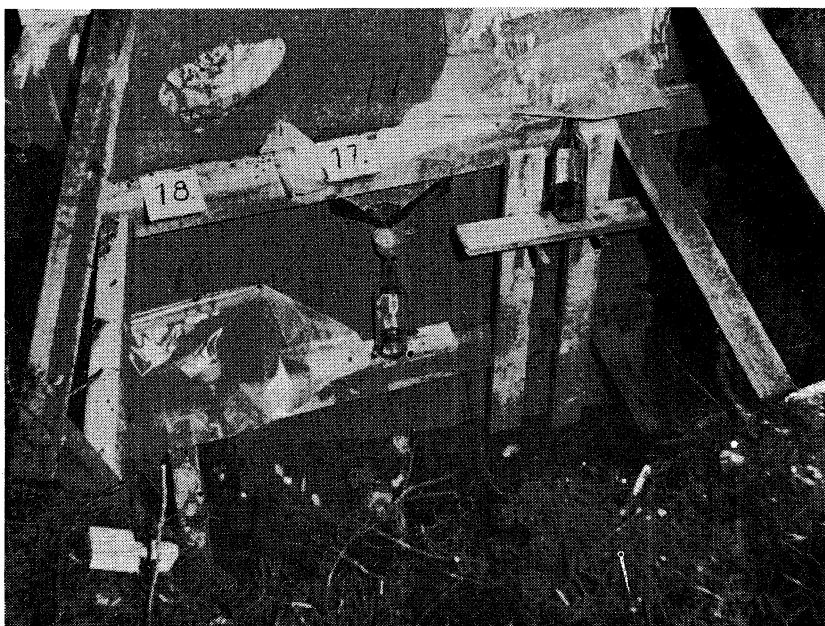


Fig. 5. Lysimeterförsök i moränmark. På bilden synes moränblock täckt av plastduk sticka ut genom väggen i lysimetergropen.

Lysimeterversuch in Moränenboden. Auf dem Bild sieht man Moränenblöcke, die in der Wand der Lysimetergrube sitzen und mit Plasttuch bedeckt sind.

över flaskan, tratten och rännan och förhindrar därigenom smådjur m. m. att hamna i tratten. I morängropar har det varit synnerligen svårt att få en masonitskiva att ligga plant utefter markprofilen. Här har (fig. 5) förf. tvingats göra hål för blocken som sticker ut. Trots detta förfarande är det ofrånkomligt att förutsättningarna för en ökad infiltration i moränmarkprofilen härigenom något gynnats. Hela lysimetergropen har sedan täckts med ett tak, som är klätt med takpapp. Detta tak går en bit över kanten på den sida av gropen, där lysimeterrännorna finnas inskjutna, för att nederbörden ej skall tränga ner mellan plastduken och markprofilen. Hela lysimeterområdet är inhägnat. På den fullständigt orörda delen, som ligger ovan lysimeterrännan äro ett antal (min. 3) nederbördsuppsamlare placerade. Dessa ha emellertid icke kunnat användas för registrering av nederbörden under vintern. Nederbördsjäktarens konstruktion framgår å fig. 3.

KAP. II

Undersökningsområden

Nedanstående lokalbeskrivningar omfatta i huvudsak geologiska och pedologiska förhållanden, medan de växtsociologiska beskrivningarna komma nedan i samband med redogörelser för resp. försök. Klimatobservationerna äro sammanförda i fig. 30—35. I dessa sistnämnda diagram äro dessutom longituder och latituder för närmast belägna meteorologiska stationer angivna.

Bjurfors Kronopark

Bjurforsområdet utgör en del av kronoparken Bjurfors, belägen 3 km söder om Avesta. Själva försöksområdet omfattar drygt 400 ha och ligger 135—160 m ö. h., dvs. långt under högsta kustlinjen.

Fältningsarbetena rörande grundvattnets kemiska egenskaper kommo redan på ett tidigt stadium att till största delen förläggas till denna kronopark, där vattenfaktorn är en mycket i ögonen fallande ståndortsfaktor. Den tämligen jämna boniteten inom kronoparken står i motsatt förhållande till markens starkt växlande geologiska beskaffenhet men i samklang med en relativt likartad grundvattenbevattning. Visserligen finnas enhetliga, plana moränområden, som exempelvis norra delen av förf:s försöksfält (se fig. 6), men även hållar, vattensediment av olika slag såsom svallgrus, sand, mjåla, mellanlera osv. förekomma i rik omväxling. Även torvmarksarealen är betydande. Härtill må nämnas att berggrunden, som till huvudsaklig del är en leptitgnejs, stundom äger i sig inneslutna grönstensformationer av olika slag. Alla dessa faktorer borde var för sig kunna giva anledning till en karakteristisk skogsproduktion. I stora drag är emellertid så icke fallet. Bonitetsväxlingarna äro förhållandevis små, och man får lätt intrycket av att det inom parken råder tämligen enhetliga ståndortsfaktorer. Möjligen kan man utmed landsvägen i riktning mot Norberg förmärka en sämre höjdtillväxt (muntligt verifierad av f. revirförvaltaren, jägmästare OSKAR LINDBLAD) antagligen betingad av en ökad leptitinblandning i moränen. Det är således uppenbart att de av geologiska orsaker betingade växlingarna i underlaget äro till synes av mindre betydelse i Bjurfors till följd av att vattenfaktorn dominerar. Dennas stora betydelse beror på att de kvartära avlagringarna äro tunna och att hället bildar ett utmärkt golv för grundvattnet att rinna utmed. Inom förf:s försöksfält äro de topografiska förhållandena jämna, medan man på parken i övrigt även har den för Bergslagen typiska småbrutna terrängen. Försöksområdet äger vattenbearbetade moräner, kalspo-

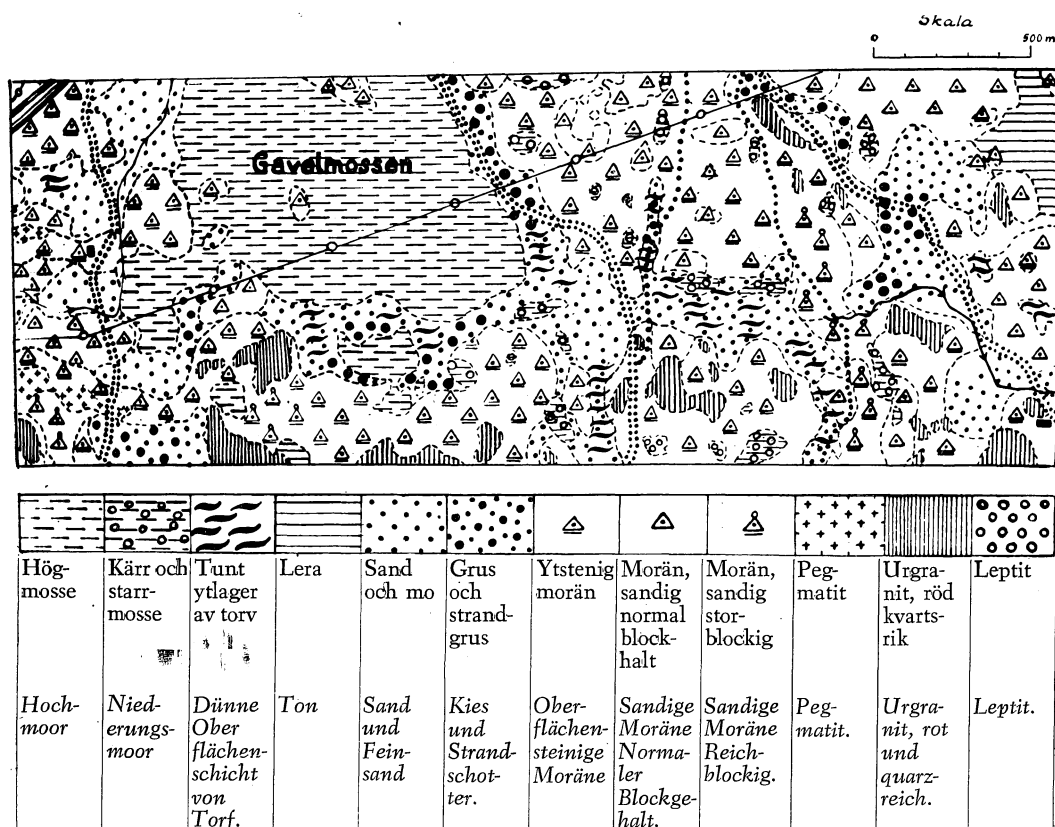


Fig. 6. Jordartskarta över undersökningsområdet å Bjurfors kronopark.

Geologische Bodenkarte des untersuchten Gebietes im Staatsforst Bjurfors.

lade hållar, vattensediment, strandvallar osv. Även helt små rullstensåsar förekomma och osvallade moräner äro vanliga. Moränerna äro emellertid ofta ytsteniga oavsett vattenbearbetningen. Såsom tidigare framhållits (TROEDSSON 1953) kan denna ytstenighet bero på svallning, uppfrysning eller en primär ytstenighet vid moränens bildning. Såsom framgår av kartan i fig. 6 äro moränerna till stor del ytsteniga inom försöksfältet. Moränernas petrologiska egenskaper motsvara ungefär en normal morän. Basmineralindex ligger mellan 10—13 och vid blockräkningen är grönstensprocenten i östra delen 7 % och i västra delen av försöksområdet knappt 5 %. Moränen är vanligen sandig-moig med stundom någon dragning åt enbart sandig morän. På några enstaka punkter har moig morän påträffats.

Inom de stora, plana moränområdena (t. ex. området mellan Myrsjövägen och Gavelmossen) förekomma synnerligen allmänt små vitmossfläckar, som äro betingade av att grundvattnet blir stående på underliggande hållar, resp. på osvallad morän, som underlagrar svallgrus osv. I genomsnitt ligger grundvattenytan på 0,5—1,5 meters djup. Markprofilen är inom de vitmossfria markerna vanligen järnpodsol, medan i öv-

rigt såväl humus- som järnhumuspodsol förekommer. Liksom ofta inom de lägre delarna av Bergslagen äro markprofilerna icke ensartade. Variationerna äro många, då de lokala grundvattenförhållandena äro så mångskiftande att markprofilen aldrig blir enhetlig inom större områden. De flesta vattensedimentområdena äro utdikade (LUNDBERG 1952) under de senaste 50 åren. De sedan tiden före dikningen förekommande torvtäckena på dessa jordar äro ända till 30—40 cm mäktiga men synas alltmera sjunka ihop och därmed bliva tunnare. De dikade sedimentområdena uppvisa kronoparkens allra högsta boniteter.

Södra sidan av förf:s försöksfält utgör en vattendelare och likaså bildar norra sidan delvis en vattendelare. Nordvästra hörnet av området är s. a. s. avskuret av genomgående vattendrag och i östra kanten ligga de mest omfattande dikningsföretagen. Dessa dikningar bilda en väl avgränsad linje i öster. Man kan med andra ord säga att den del av Bjurforsområdet som förf. avgränsat, bildar ett enhetligt vattenområde.

Grenholmen

Grenholmens försöksområde ligger c:a 20 km ONO om Norrtälje vid en liten vik av Östersjön (lat. N 59° 52', long. E 18° 55') och höjden över havet är c:a 10—15 m. Den lokala, grusig-sandiga urbergsmoränen är starkt påverkad av material från det nordbaltiska kambrosiluområdet varför moränen äger en lerhalt högre än normalt och dessutom en viss kalkspathalt. Från mineralogisk synpunkt är marken sålunda mycket rikare än Bjurforsområdets. Hela området har på grund av den låga höjden över havet legat helt under det postglaciala havet, och vid upplyftningen ur detta kommo de högst belägna punkterna att kraftigt svallas, varvid urbergshällar blottades och moränen blev spolad i ytan. Havets inverkan har även resulterat i en anmärkningsvärd ytstenighet. Såväl denna som svallningen är stundom starkare, stundom svagare utbildad, här och var finnas vattensediment avlagrade i sänkor, nedanför sluttningar osv. tillsammans utgörande en mosaik av jordartstyper utan skarpa gränser inbördes. Kalkspaten i marken är urlakad till åtminstone 0,6 m djup. Till följd av det mineralogiskt goda marktillståndet är markprofilen till stor del brunjordsartad. Övergångsformer finnas mellan järnpodsol och brunjord, i vilka ett helt tunt blekjordslager, föga sammanhängande i horisontell led, är utbildat. Den vanliga humusformen är mull, men även råhumus förekommer.

Grenholmens försöksområde utgöres dels av en delvis hävdad löväng och dels av barrblandskogsbestånd. Förf. har till huvudsaklig del haft sina försök förlagda till det senare området, där ytor undersökts som haft en med Bjurforslokalerna så likartad husmossmatta som möjligt.

Hillarp

Detta område ligger 17 km NV Hässleholm, 113 m ö. h. Berggrunden tillhör det västsvenska gnejsområdet med moräner påverkade även av de småländska urgranitområdena. Området kännetecknas av blockrik morän, utgörande öar i omgivande vatten-

sediment av glaci-fluvialt ursprung, täckta av torv. Moränerna äro vanligen 2—3 meter mäktiga och berggrundsytans relief är troligtvis mycket småbruten. Basmineralindexvärdet är förhållandevis lågt i moränen (7—8) och moräntypen är snarast sandig. Ofta påträffar man såsom sprickfyllnader i berggrunden kalksten från det gamla krithavet, som en gång sträckte sig över stora delar av norra Skåne (LUNDEGREN 1934). Där sådana fyndigheter förekomma brytas de vanligen av ortsbefolkningen. Man kan förmoda att dylikt kritmaterial stundom finnes inblandat i moränen och därmed giver den ett ur skoglig ståndortssynpunkt utmärkt mineralogiskt tillskott. Förf. har försökt finna en ej kritpåverkad morän, vilket enligt analysresultaten också synes ha lyckats. Markprofilen är vanligen järnpodsol med ett helt tunt blekjordslager (2—3 cm) med ljust rödbrun rostjord. Humusformen är råhumus.

Lokalen är belägen i sydostkanten av det höghumida området i sydvästra Sverige. Se vidare observationsdata från Skånes Fagerhult fig. 32.

Röskär

Röskärsområdet ligger 11,5 km NO Stockholm och 650 m OSO Röskärs gård (Statens Skogsforskningsinstitut, Genetiska institutionens försöksstation). Försöksytan ligger c:a 12 meter över havsytan och omfattar blott ett par hundra kvadratmeter. Som alla skärgårdsomgivningar runt Stockholm är området hårt spolat av havet, och blottade hållar förekomma allmänt. I de små sänkorerna mellan hållpartierna ligger vanligen styva mellanleror, som emot höjderna ersättas av moiga eller sandiga jordarter, som delvis fått sitt material från den bortspolade moränen. Stundom kunna dylika grövre vattensediment bliva tämligen mäktiga (1—4 meter) och bilda då långsamt sluttande områden, oftast med höga boniteter i de fall då lera eller hårt packad morän bildar ett ogenomsläppligt lager för grundvattnet. Detta grundvatten erhåller stora tillskott från omgivande hållområden.

Inom ett dylikt, svagt sluttande, sandigt mo-område äro försöken placerade. Markprofilen är svagt utbildad järnpodsol, stundom brunjordsartad. Humusformen är stundom mull stundom råhumus. Sällan förekomma rena husmossfläckar utan örter, och framför allt är gräsvegetation vanlig. Skogsområdet består av 65—75-årig växtlig barrblandskog med övervägande gran.

Jägarhyddan

Jägarhyddan ligger inom det höghumida området i sydvästra Sverige på gränsen mellan Hallands län och Kronobergs län. Närmaste meteorologiska station är Singeshult 1 km NV Jägarhyddan. Genom välvilligt tillmötesgående från Skogssällskapets dåvarande direktör, numera överdirektör F. JOHANSSON har förf. på denna sällskapets skogsgård fått tillstånd att anlägga lysimeterförsök.

Hela denna trakt av vårt land kännetecknas av stora, nästan plana områden, bestående växelvis av moränmarker och myrområden. De numera med skog planterade f. d. ljunghedarna börja genom sina uppväxande granskogar helt och hållet ändra landska-

pets utseende. Den stora flackheten och avsaknaden av hållblottningar vittnar om att de kvartära avlagringarna äro förhållandevis mäktiga.

Som försöksyta för lysimeterförsöken har förf. valt den glacifluviala bildning, på vilken Jägarhyddans gård ligger. Denna bildning utgöres av sandig mo, som är c:a 8—10 meter mäktig. Avsikten var att den kapillära förbindelsen med grundvattnet skulle vara minimal, för att det skulle bli möjligt att utröna hur stor mängd av den årliga nederbörden det är, som perkolerar genom de olika marklagren. Humusformen är råhumus med väl utbildad järnpodsol. Blekjorden är 2—4 cm mäktig.

Mölna försöksfält

Mölna försöksfält ligger c:a 5 km NO Vaggeryds station vid järnvägen Nässjö—Halmstad. Området ligger söder om Käringsjön, som genomflytes av källflöden till Lagan. Försöksfältet ligger ganska lågt och består av en plan (grusig) sandmo utfyllande en tämligen vid dalgång. Ingående geologisk, botanisk och klimatologisk beskrivning har lämnats av C. O. TAMM (1947). Fältet har av förf. utnyttjats för gödslingsförsök av bl. a. den anledningen att materialet är tämligen grovt, i vilket man därför skulle kunna förvänta en snabb perkolering. Finjordshalten är blott 2—5 % (finmo + grovmjåla + finmjåla + ler). Morik sand påträffas stundom och då som synnerligen tunna men vattenhållande lager. Mineralogiskt sett är Mölna-sanden kvartsrik. Basmineralindex är genomgående c:a 3. Fältet ligger i huvudsak 2,5—4 m över Käringsjöns yta, och till följd av det genomsläppliga jordmaterialet ligger sjöytan oftast någorlunda i nivå med grundvattenytans läge inom försöksområdet. Inom den lilla yta förf. har använt är markprofilen järnpodsol med 4—7 cm råhumus och 1—3 cm blekjord (se vidare C. O. TAMM 1947 s. 16).

Med hänsyn till att förf. velat undersöka urlakningen i samband med ett gödslingsförsök har det vid diskussionen av försöksresultaten (kap. V: 8: d) varit nödvändigt att taga hänsyn till avvikelserna under försökstiden från den genomsnittliga årsmedelnederbörden. Därvid har den närbelägna stationen i Skillingaryd måst användas. Dess årsmedelvärde är emellertid enligt C. O. TAMM (1947) tyvärr något högre än i Mölna, där det enligt honom bör ligga vid ungefär 660 mm.

Övriga områden

Förutom inom de ovan beskrivna försöksområdena ha smärre försök och provtagningar skett på ett flertal lokaler. Dessa äro i den mån förf. ansett det erforderligt beskrivna i samband med redogörelser för resp. försök. Vanligen äro dessa lokaler belägna alldeles intill de fasta försöksområdena, varför man ur klimatologisk synpunkt kan hänvisa till dessa.

KAP. III

Skogsmarkens olika vattenfraktioner

Kort översikt

I vårt land betingas tillförseln av vatten till grundvattnet helt av nederbörden. Den gängse uppfattningen är, att en del av nederbörden bindes i trädkronorna, en del når marken och en del av detta tränger ner genom mineraljorden till grundvattnet. Hastigheten i dessa rörelser växlar med nederbördsmängden, beståndens slutenhet, markvegetation, jordart och djupet till grundvattnet. Detta komplex av vattenförbrukande och mer eller mindre vattenkvarhållande »skikt» har under en mycket lång tid varit föremål för intensiva undersökningar. De varierande faktorerna äro många, varför antalet möjliga kombinationer blir mycket stort. Man har fått inrikta sig på detaljproblem och om möjligt söka få fram allmängiltiga resultat för nederbördens fördelning inom olika nivåer i marken. Framför allt insåg man redan på ett tidigt stadium nödvändigheten av en klassifikation av jordvattnet. Sålunda framlade Nordiska jordbruksforskarens förnings markläresektion genom G. EKSTRÖM vid föreningens kongress i Uppsala 1938 ett preliminärt förslag till en terminologi för jordvattnet, som förf. till största delen kommer att följa. EKSTRÖM indelar de olika vattenfraktionerna i två huvudgrupper: Fritt och bundet vatten. Det fria vattnet består av ytvatten, sjunkande fritt vatten och grundvatten, medan det bundna utgöres av kemiskt bundet vatten, adsorptionsvatten och kapillärvatten. Denna indelning av jordvattnet är med fördel tillämpbar i vårt land och härrör från början från ZUNKER (1930).

Det må framhållas, att i ovan återgivna jordvattenklassifikation äro övergångarna mellan fritt och bundet vatten mycket diffusa. Inga skarpa gränser finnas mellan de olika undergruppernas vattenfraktioner. Uppdelningen av det kapillära vattnet t. ex. visar (ZUNKER 1939) att gränsen till det fria vattnet, dvs. sjunkvattnet, är teoretisk. Det kapillära vattnet kan indelas i 1) Porvinkelvatten, 2) Hängande kapillärvatten, 3) Sjunkande kapillärvatten och 4) Kapillärzonvatten. Denna indelning är fullt motiverad med hänsyn till kapillärvattnets förekomstsätt. Men samtidigt ger den en antydning om de svårigheter som finnas, då man skall försöka sätta fingret på den glidande övergången till det fria vattnet. Gränsen mellan det fria och bundna vattnet kommer man ur terminologisk synpunkt ifrån om man som i den moderna engelska klassifikationen använder ordet »soil-moisture», (KRAMER 1949 s. 25) dvs. m a r k f u k t i g h e t, vilket svenska ord dock icke täcker det engelska. EKSTRÖM (1938) inför därför också begreppet jordvatten, som omfattar såväl fritt som bundet vatten.

Jordvattnet kan även behandlas utifrån begreppen energi och kraft. Sålunda införde SCHOFIELD (1935) termen pF , uttryckande den energi varmed jordvattnet fasthålls. Symbolen pF definieras såsom logaritmen för höjden av den vattenpelare i cm, som motsvarar det tryck, som erfordras för att borttaga vattnet i jorden. I kap. V redogöres närmare för begreppet pF . SCHOFIELDS metod äger den fördelen att man via sjunkande vattenhalt successivt kan bestämma jordvattnet i marken ända till den punkt, där de flesta växter ej förmå att upprätthålla sin turgor, dvs. vissningspunkten. Det blir på så sätt sjunkvatten och kapillärvatten man erhåller, m. a. o. de för växterna ur vattenförsörjningssynpunkt viktigaste fraktionerna, dock utan att ange vilken typ av vatten. Systemet jord-vatten är som sagt mycket komplext; innan vi närmare känna till finfraktionernas och framför allt lerets fysik och kemi i våra jordarter, kommer det att dröja innan vi behärska jordvattnets rörelser och förekomstsätt.

Vid ett studium av skogsmarkens olika vattenfraktioner måste därför ännu länge fältiakttagelserna vara de viktigaste utgångspunkterna. En noggrann kännedom om de geologiska ståndortsvillkoren i deras vidaste bemärkelse är ofrånkomlig. Den oregelbundna, kvartära sedimenteringen särskilt nedanför högsta kustlinjen medger stora differenser i jordarternas kornstorlekar i en markprofil, vilket i sin tur medför komplicerade hydrologiska förhållanden.

I detta arbete har det följaktligen ansetts lämpligast att behandla skogsmarkens vattenfaktor empiriskt. Fältiakttagelser och fältförsök ha utgjort grunden för ett studium av jordvattnet. De vattenfraktioner, som därvid framför andra studerats äro ytvattnet, sjunkvattnet och grundvattnet. Dessa vattenslag äro viktigast för skogsträden ur ekologisk synpunkt. Förf. har ännu så länge av två skäl inte ansett det nödvändigt att i detalj behandla det bundna vattnets förekomst. För det första måste vi dessförinnan ha en god kännedom (vilket vi hittills sakna trots att några arbeten på detta område föreligga) om sambandet mellan nederbörd — sjunkvatten — grundvatten ur såväl kemisk som fysikalisk synpunkt, och för det andra torde det fria vattnet ha den största betydelsen i skogsmarken. I kap. V komma emellertid även det mer eller mindre bundna vattnets egenskaper att behandlas.

Mineralnäringsoomsättningen i relation till de olika vattenfraktionerna i skogsmarken

Vattenförsörjningen av skogsträden erhålles förmedelst dels den direkta nederbörden, dels den magasinerade vinternederbörden och dels grundvattnet. Mineralnäringsupptagningen består till stor del av assimilerande av i dessa vattenslag lösta ämnen. Hur nederbördsvattnet tänkes fördelat på de olika »nivåerna» har schematiskt framställts av bl. a. ENGLER 1919, HALDEN 1926, THURMANN-MOE 1941, STÅLFELT 1944. Dessa undersökningar beröra emellertid inte den samtidiga näringsämnestransporten. Därför har förf. i nedanstående fig. 7 försökt att visa hur omsättningen av mineralnäringen i skogsmarken är betingad av nederbördens

fördelning. Den kvalitativa och kvantitativa fördelningen av såväl nederbördsvatten som mineralnäringsämnen på de olika nivåerna känna vi inte till. Visserligen finnas såväl nederbördsanalyser som grundvattenanalyser, varför man i stora drag borde kunna räkna sig till debet och kredit i mineralnäringsomsättningen. Men det föreligger också många obekanta faktorer: Hur stor del av nederbörden rinner bort som ytvatten och hur stor del av hela nederbörden når grundvattnet? Vilka mineralämnen bindas i de olika markhorisonterna? Vad betyder vittringstillskottet för grundvattnets halt av olika näringsämnen osv.?

Tillförsel och förluster av såväl näringsämnen som vatten i skogsmarken kan sammanfattas i följande grupper:

- A. Tillförsel av närings- och nederbörds mängder genom den för lokalen uppmätta årsnederbörden.
- B. Bortförsel genom mineralämneshaltiga skogsprodukter.
- C. Bortförsel av nederbörd och näringsämnen genom ytvatten.
- D. Bortförsel av nederbörd och näringsämnen genom grundvattnet.

Detta samband mellan vattnets och näringsämnenas förekomst i marken framgår av fig. 7. Teoretiskt är det möjligt att beräkna såväl inkomst- som förlustvärdena. Med nederbördsmätare är det möjligt att samla in regnvattnet och i detta bestämma de olika jonslagen och deras koncentration. Det årliga virkesuttaget pr ha går också att fastställa, varigenom man kan beräkna mineralnäringsförlusterna. Beräkning av förlusten av nederbörd genom ytvattenavrinningen är däremot svår att praktiskt genomföra. Metodik här för har utarbetats av bl. a. LOWDERMILK, W. C. (1930, 1931), PEARSE, C. K. (1936), SHERMAN, L. K. (1938), SHREVE FOREST (1934) m. fl. Framför allt har LOWDERMILK undersökt ytvavrinningen i skogsmarken, men de erhållna värdena äro knappast tillämpbara i vårt land. Tillförlitliga, genomsnittliga ytvattenanalyser fordra ett omfattande arbete med täta provtagningar. Mineralnäringsförluster genom ytvattnet äro svåra att bestämma. Ytvavrinningen anses vara störst i snösmältningen och borde därför spela en relativt liten roll ur synpunkten av bortförsel av mineralnäringsämnen.

I ett tidigare arbete (TROEDSSON 1952) har jag visat att i grundvattnet äro ledningsförmågan och de olika katjonkoncentrationerna tämligen konstanta. De kvalitativa värdena för urlakning genom grundvattnet borde sålunda kunna fastställas utan större svårigheter. Problemet blir emellertid svårare, då kvantitativa värden per arealenhet eftersträvas. Visserligen finnes regionala uppgifter om nederbörd, avrinning och avdunstning (Sver. Met. och Hydro. Inst.), men för att dessa värden skola vara användbara för lokala skogsområden är det nödvändigt att grundvattenavrinningsbestämningar utföras för helt små avrinningsområden. I kap. VII få vi tillfälle att återkomma till dessa problem.

Ett annat sätt att successivt erhålla värden på nederbördstillskotten till grundvattnet är mätningar av sjunkvattnet genom lysimeterförsök. De värden man erhåller ge-

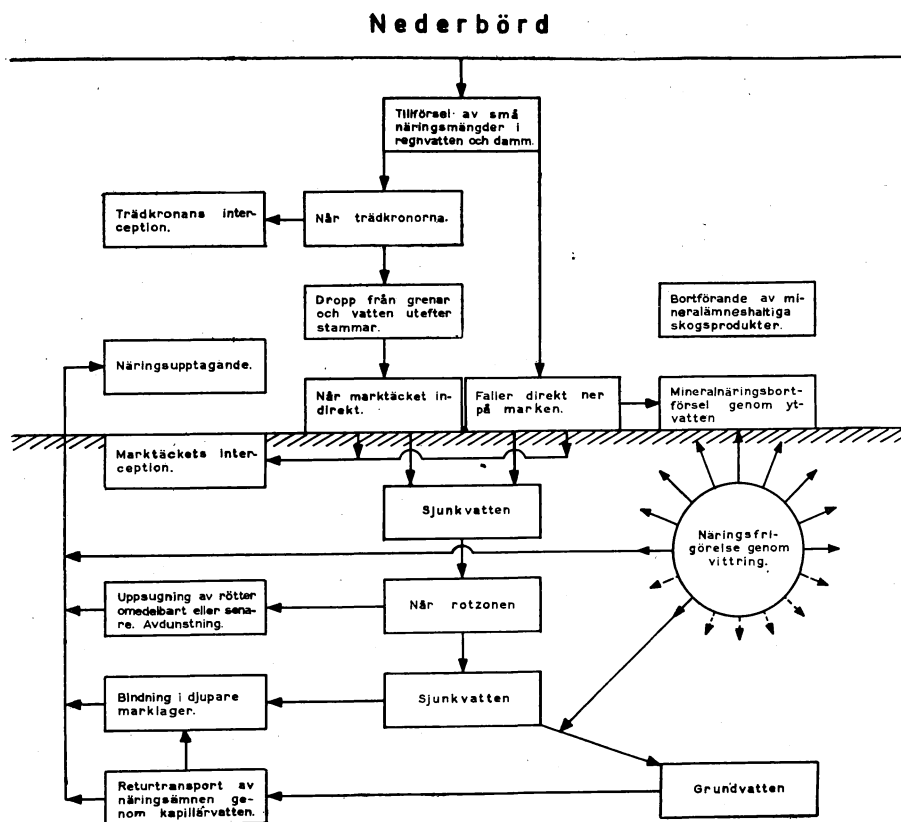


Fig. 7. Nederbördens fördelning i skogsmarken och den därav betingade omsättningen av mineralnäringen.

Die Wege des Niederschlagswassers im Waldboden und der damit bedingte Transport von mineralogenen Nährstoffen.

nom dessa böra bli sanna om man kan anse att nederbörden nedtränger i marken på s. a. s. bred front. Går urlakningen i marken däremot genom sprickor, utmed rottrådar o. d. blir icke ens dessa värden riktiga. Under sådana omständigheter finge man försöka utföra avrinningsmätningar från små avrinningsområden, där man har ett homogent skögsbestånd, och där man med hjälp av kemiska analyser kan erhålla ett genomsnittligt värde på de årliga växtnäringsämnesförlusterna. Även lysimeterförsök med stora arealer skulle ge möjligheter att mäta det sjunkvatten som rinner ner genom kanaler o. dyl. till grundvattnet. Sådana undersökningar äro emellertid i praktiken synnerligen omständliga och svåra att genomföra.

Balansen mellan skogsmarkens olika vattenfraktioner

Sambandet mellan nederbörd, sjunkvatten och grundvatten kan förvisso betr. skogsmarken icke återges med en enkel matematisk formel. Ett tillfälligt nederbördsöverskott

under j u l i m å n a d i ett skogsbestånd ger säkert ej ett lika stort grundvattentillskott som ett motsvarande regn skulle giva under vår och höst då marken antages vara mera vattenmättad och avdunstningen är lägre. STÅLFELT (1944) har visat att man icke erhåller något sjunkvatten alls under ett växtligt och slutet granbestånd i södra Sverige. Infiltrationen i marken är sålunda beroende av ett flertal olika företeelser. LEWIS och POWERS (1939) (jfr. även WITTICH 1938) ha studerat de faktorer, som påverka hastigheten i infiltrationen. Icke blott jordart och marktäcke utan även humushalt, marktemperatur, markluft, sjunkvattnets hydrostatiska tryck osv. påverka sjunkvattnets infiltration. Nedrinningen av nederbörden i marken är beroende av en hel mängd faktorer, och det är först då sjunkvattnet enl. MITCHELSON & MUCKEL (1937) är i direkt kontakt med grundvattnet, som detta senare påverkar sjunkvattnets perkoleringshastighet.

Sker däremot nederbördens nedträngande genom rotkanaler etc. blir sambandet mellan nederbörd — sjunkvatten — grundvatten betydligt mera påtagligt. Dvs. ju fortare nederbörden når grundvattnet, desto större är det så att säga reguljära sambandet.

I vårt land med dess i huvudsak humida klimat, där grundvattnet som regel icke ligger på stora djup under markytan, vore det att vänta att sambandet nederbörd — sjunkvatten — grundvatten under vissa perioder borde vara utpräglat. Åtminstone visa de av HESSELMAN (se MALMSTRÖM, C, 1930 s. 104) insamlade vattenståndsobservationerna från Kulbäckslidens och Roklidens försöksfält på en ständigt oscillerande grundvattennivå måhända direkt beroende av de lokala nederbördsförhållandena.

Vid en närmare granskning av HESSELMANS värden — se vidare kap. V — synes det emellertid vara tydligt att de stora och snabba oscillationerna på ända upp till 100 cm av grundvattenytan och därutöver, ej kunna vara ett resultat av en normal grundvattenytans nivåförändringar utan fastmer ett resultat av rörelserna av en tryckyta. I så fall blir grundvattenytans höjningar och sänkningar i c k e beroende av den l o k a l a nederbördens nedträngande i form av sjunkvatten utan av infiltration först och främst från omgivande hållar. I kap. VI skall redogöras för förf:s egna grundvattenståndsmätningar å Bjurfors Kronopark, vilka starkt tala för detta.

Ovan anförda åsiktsmotsättningar göra att sambandet nederbörd — sjunkvatten — grundvatten måste utredas för att man över huvud taget skall kunna få något begrepp om urlakningen av växtnäringsämnen i den svenska skogsmarken. Den väg förf. sökt att gå fram på är ett studium av sjunkvattnet. Genom att studera sjunkvattnets tillförsel ovanifrån och dess förening med grundvattnet nedåt belyses de successiva övergångarna mellan de olika vattenfraktionerna, och det är därmed möjligt att förstå rytmen i de årliga, kvantitativa sjunkvattenstillskotten till grundvattnet. För att studera sjunkvattnet fordras emellertid en ingående kännedom om de något mera lättåtkomliga vattenfraktionerna ss. grundvattnet och ytvattnet. I nästkommande kapitel redogöres därför först för de omfattande grund- och ytvattenundersökningar, som förf. bedrivit.

KAP. IV

Grundvattnets kemiska egenskaper i skogsmarken

1. *Inledning*

Till en början avsåg undersökningarna av grundvatten blott att få fram skillnader i dess kemiska sammansättning inom olikartade berggrundsområden. A priori är det att förvänta en ökad elektrolythalt i grundvattnet från jordarter, som bildats av t. ex. kambrosilurbergarter jämfört med jordarter, som härröra från en gnejsleptitberggrund. Att så är förhållandet har ju också tidigare visats i vårt land. De grundvattenundersökningar, som förf. har utfört inom i geologiskt avseende olikartad miljö (TROEDSSON 1952), ha också visat att de lösa jordarternas mineralogiska sammansättning är av väsentlig betydelse för grundvattnets halt av metallkationer. Det var framför allt i tvenne områden, som dylika jämförande grundvattenanalyser utfördes, nämligen dels *Bjurfors Kronopark* invid Avesta och dels *Grenholmens gård* c:a 2 mil nordost om Norrtälje. Vid dessa undersökningar provtogs grundvattnet på samma lokaler under flera år i följd. Det visade sig därvid att analysresultaten från en och samma lokal icke nämnvärt avveko från varandra. Grundvattnet befann sig sålunda i en viss jonbytesjämvikt med jorden. Detta var en erfarenhet, som gällde båda områdena i lika hög grad. Om man nu valde ett antal områden där skogstyperna voro så lika som möjligt men med mineralogiskt olika jordarter, så borde snösmältning, nederbördsmaxima, temperaturvariationer, jontransporter i det rinnande grundvattnet i sluttningsar, jontransporter mellan markytan och grundvattnet osv. på samma sätt påverka jonbytesjämvikten i grundvattnet. Vi kunna illustrera detta med följande exempel: Vid en del mycket höga nederbörder erhöll man en *tendens* till ökning av de envärda metallkationerna i grundvattnet inom Bjurforsområdet. Inom Grenholmen, där grundvattnets ledningsförmåga av mineralogiska orsaker är ungefär tio gånger högre än i Bjurforsområdet, bekräftades denna erfarenhet mycket tydligt. Å andra sidan kunde oväntade drag i grundvattnets kemiska sammansättning inom Grenholmenområdet — såsom en kontroll på deras allmängiltighet — även sökas inom Bjurforsområdet.

Redan från fältförsökens begynnelse 1949 kommo Bjurfors- och Grenholmenområdena att utgöra de viktigaste lokalerna för förf:s undersökningar. Som ovan nämnts komplettera dessa lokaler varandra väl ur geologisk synpunkt, vilket även torde framgå av beskrivningen i kap. II. Även ett flertal andra områden ha dessutom undersökts med avseende på

grundvattnet. Dessa ha valts så att också vissa delar av södra Sverige blivit representerade. Då strävan varit att undersökningarna skola kunna pågå under större delen av året, ha även sådana synpunkter som tillgången på lämpliga observatörer m. m. måst beaktas. Grundvattenundersökningar ha sålunda även kunnat bedrivas inom ett flertal andra områden vilka äro beskrivna i kap. II.

Det huvudsakliga arbetet har ägnats åt det fria vattnet i skogsmarken, dvs. ytvattnet, sjunkvattnet och grundvattnet. Riktigast hade varit att följa ytvattnets väg ned till grundvattnet och därvid studera förändringarna i dess sammansättning. Det möter emellertid stora svårigheter att samla upp såväl yt- som sjunkvattnen i fältet, varför andra vägar (se nedan) måst följas. Det är betydligt lättare att insamla grundvattnet, och de analysvärden som erhållits för detta kunna anses synnerligen tillförlitliga inte endast ur ren analysynpunkt (till följd av större tillgång på analysvätska) utan även ur generell synpunkt. Grundvattenanalyserna äro många från olika delar av året. I vatten från Bjurfors Kronopark ha exempelvis flera hundra analyser gjorts. För detta 400 hektar stora försöksområde torde sålunda grundvattnets kemiska sammansättning nu vara väl utredd. Med stöd av de erfarenheter, som därmed vunnits, har provtagningen inom de övriga områdena faktiskt kunnat göras mera översiktlig. På grund av det erhållna analysmaterialets stora omfattning har det emellertid uppstått vissa svårigheter att överskådligt framlägga detsamma. Då fältiakttagel-

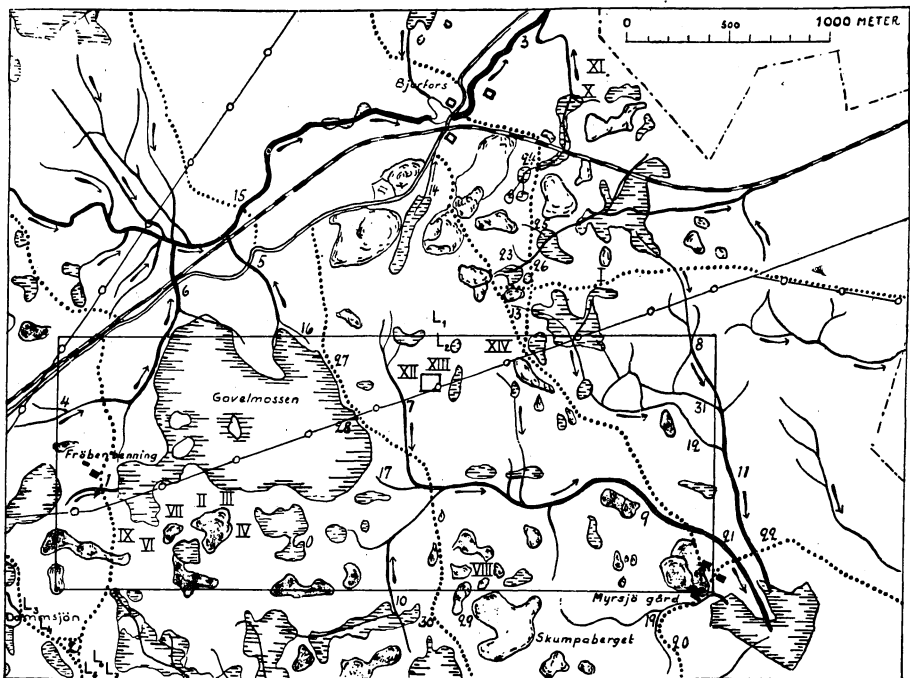


Fig. 8. Kartan anger belägenheten av resp. lokaler inom Bjurfors Kronopark.

Die Karte zeigt die Lage der verschiedenen Lokale im Staatsforst Bjurfors.

serna enl. förf:s mening utgöra de viktigaste förutsättningarna för att förstå vattnet i skogsmarken ha i första hand redogjorts för dessa iakttagelser. Förf. har därför framlagt undersökningsresultaten i samma ordning som fältiakttagelserna. Främst ha geologiskt och topografiskt likartade områden undersökts. Därmed har vunnits att det blivit sluttningar, plana områden, hållområden, myrkanter, plåtåer, dalgångar osv. som granskats. Dessa ha varit växtplatser för olika skogsbestånd och undersökningsresultaten ha därmed blivit tillämpbara på skogen, samtidigt som den hypotetiskt uppställda vattenbalansen i skogsmarken (se kap. VIII) har kunnat preciseras. Förf. har också sökt att där möjligheter förefunnits arbeta inom likartade bestånd med för försöksområdet ifråga normala skogsförhållanden. Inom Bjurfors och Grenholmen har den husmossrika 60—80-åriga gran-tallblandskogen blivit den skogstyp som främst undersökts.

Vid redogörelsen för grundvattnets kemiska sammansättning har förf. delat upp resp. lokaler i tvenne stora grupper: sluttningar och plana områden, vilka ha i viss mån olikartade hydrologiska betingelser. I sluttningarnas framsilande grundvatten kunna jonernas transportbetingelser studeras, medan man inom plana områden kan undersöka det mera stillastående grundvattnets egenskaper. En ingående kännedom om grundvattnets kemiska egenskaper inom dessa huvudgrupper är nödvändig för de fortsatta undersökningarna angående vattnets allmänna förekomstsätt i skogsmarken.

2. Provtagningsmetodikens tillförlitlighet

Grundvattnet har nästan uteslutande provtagits med hjälp av de i kap. I:2 beskrivna mässingsrören. Tillförlitligheten i denna metodik har prövats här nedan. Bl. a. gäller det betydelsen av olika nivåer inom grundvattnet.

Vid uppsugningen av markvattnet i de beskrivna mässingsrören må det icke utan vidare få anses fastslaget att det är grundvattnet, som erhålles. Det kan möjligen också vara sjunkvatten. Å andra sidan händer det att man ej erhåller något vatten alls vid pumpningen. Detta behöver icke innebära en avsaknad av grundvatten utan kan bero på jordartens finkornighet. Härtill kommer ytterligare en osäkerhet nämligen provtagningsdjupet i grundvattnet. Försök ha gjorts för att bestämma jonkoncentrationernas variation och de därmed sammanhängande ledningsförmågeväxlingarna i olika nivåer inom grundvattnet. Det visade sig emellertid därvid att i de flesta fall inverkade inte provtagningsdjupet på vattnets jonsammansättning.

Inom Bjurforsområdet fördes trenne mässingsrör ned i en sandig-moig morän (intill Myrsjövägen lokal XIV, fig. 8) på ett djup av resp. 110, 120 och 135 cm. Vegetation: gles barrblandskog med starkt inslag i fältskiktet av *Oxalis acetosella*, enstaka *Anemone Hepatica* samt även gräs såsom *Deschampsia flexuosa*, *Agrostis tenuis*, *Melica nutans*. Där bestånden bildade smärre slutna bestånd förekommo mattor av *Pleurozium Schreberi* (*Hylocomium parietinum*) och *Dicranum undulatum* (*D. rugosum*), vari även ingick *Hylocomium splendens* (*H. proliferum*). Markprofil: svagt utbildad järnpodsol med ett 2 à 3 cm mäktigt blek-jordsskikt.

Inom försöksområdet vid Grenholmen undersöktes på samma sätt tre punkter. Jordarten var här en osvallad, ystenig lerig-grusig morän i svag sluttning mot väster. Markvegetation:

Tabell 1. Grundvattenanalyser (mg/l) från Bjurfors och Grenholmen, där provtagning från olika djup i grundvattnet skett.

Grundwasseranalysen aus Bjurfors und Grenholmen. Die Proben wurden dem Grundwasser in verschiedenen Tiefen entnommen.

Analysnr o. datum	Ledn. f. K _{20° C}	Ca	Na	K	pH	Djup
<i>Bjurfors:</i>						
61 a, 17/11-50	37 · 10 ⁻⁶	1,6	5,1	0,6	6,7	110 cm
b, »	37 · 10 ⁻⁶	1,8	4,0	0,8	6,7	120 cm
c, »	38 · 10 ⁻⁶	1,5	5,0	0,5	6,7	130 cm
<i>Grenholmen:</i>						
57 a, 28/10-50	420 · 10 ⁻⁶	90	10	3,4	7,2	135 cm
b, »	390 · 10 ⁻⁶	85	12	3,4	7,0	148 cm
c, »	380 · 10 ⁻⁶	85	9	2,8	7,1	155 cm
<i>Bjurfors:</i>						
410 a, 20/3-53	50 · 10 ⁻⁶	2,4	8,3	2,0	6,6	90 cm
b, »	36 · 10 ⁻⁶	1,6	5,1	0,7	6,7	110 cm

gran-tallblandskog med i fältskiktet enstaka grupper av *Anemone Hepatica* samt strödda exemplar av *Majanthemum bifolium* och *Oxalis acetosella*. Bottensikt av *Hylocomium splendens* och *Pleurozium Schreberi*. Markprofil: otydlig brunjord med ett tunt råhumus-täcke (mår).

Inom Bjurforsområdet tog det ca tre timmar att erhålla en halv liter grundvatten ur varje rör medan för Grenholmen det tog över ett dygn för att erhålla blott 350 ml i varje flaska. Då hade dessutom borrhålet för mässingsröret i varje provpunkt måst utvidgas flera gånger. Vattenanalyserna för de varierande grundvattendjupen framgå ur tabell 1.

Analyserna 61 och 57 visa att provtagningsdjupet för ifrågavarande försök inte spelar någon anmärkningsvärd roll. Man erhåller emellertid en tydlig skillnad i jonkoncentrationerna på olika grundvattendjup i analysvärdena från vattenproven 410 a och b. Under vissa omständigheter har antydningar till differentierade jonkoncentrationer erhållits på olika djup i grundvattnet — de äro emellertid svåra att påvisa. O. TAMM (1925 s. 17) visade i gränserna mellan fastmark och myrmark vid Degerö Stormyr i Västerbotten hur grundvatten med olika syrehalt uppstår. På samma sätt är det möjligt att erhålla olika »grundvattenvåningar», avgränsade sinsemellan av svår genomsläppliga jordarter såsom mjåla, ler, moiga moräner o. dyl.

I analys 410 äro vattenproven tagna i ett ned till det fasta berget relativt homogent isälvsgrus (lysimeterförsöken vid Dammsjön). På denna lokal kan det sålunda icke förekomma några olika grundvattenvåningar. Därför är analys 410 mycket intressant. Förf. får tillfälle att senare återkomma till denna lokal, men preliminärt får förklaringen till den högre elektrolythalten i de översta skikten i grundvattnet sökas i att grundvattnet står i hydrostatisk förbindelse med utefter hälletan kommande smältvattenmängder. Tillrinningen gör att grundvattnet under en kort tid höjer sig tämligen högt. Ur rostjordslagrets understa delar lakas då tillfälligtvis ut en del metallkationer. Härav den högre elektrolythalten. En dylik urlakning underifrån är av allt att döma icke ovanlig och kännetecknas genom en skarp s. k. urlakningsgräns, där joner, som icke så lätt fastlägges i markkolloiderna, äro helt borta. Urlakning genom grundvattnets oscillation är ett fenomen, som i

huvudsak påträffats i samband med smältvattnet på våarna. Analyserna 410 a och b äro sålunda exceptionella och det är endast vid tillfällena av hög nederbörd, som man erhåller motsvarande variationer i ledningsförmågan under den övriga delen av året. Och när så sker är det blott under någon eller några timmar. På plan mark, där förutsättningarna för en starkt växlande grundvattennivå icke finnes, har en högre ledningsförmåga icke påträffats i de övre lagren.

Provtagningsdjupet inom det grundvattenförande lagret är följaktligen av underordnad betydelse, såframt provtagningen icke sker i samband med snösmältningen eller under vegetationsperiodens största nederbördsperioder, då grundvattnet förmår stiga ända upp i rostjorden. Rent definitionsmässigt får man faktiskt i det sistnämnda fallet svårt att skilja på vad som är sjunkvatten och grundvatten. Inom Bjurforsområdet har det under den tid fältarbetena pågått (1949—1953) endast en gång med visshet inträffat, att ett dylikt högt grundvattenstånd erhållits, och det var vid den tidpunkt som analys nr 410 togs. Inställelsen av jämvikten i jonkoncentrationerna i grundvattnet är tydligtvis mycket snabb, varför man inom områden med järnhumus- och humuspodsoler icke erhåller någon olikhet i elektrolythalten på olika grundvattendjup. Här bildar ytvatten, sjunkvatten och grundvatten ofta ett sammanhängande vattenskikt av icke alltför stor mäktighet, vilket bidrager till att minska de nämnda variationerna.

Uppfrysningen av rören har varit synnerligen liten och vanligen lätt justerbar. Pumpningen av vattenproven har varit besvärligast vintertid till följd av kyla. Vattnet fryser mycket lätt i rören och har måst tinas upp med bläslampa före provtagningen.

Grundvattenståndet har uppmätts genom att i röret sticka ned en torr stålkärna i mäsingsröret. Vattnets temperatur har uppmätts genom en i pumpkannen insmält kvicksilvertermometer. I de fall, då permanenta rör blivit söndertrampade ha de icke direkt ersatts med nya rör, utan ett sådant har nedslagits på en ny punkt, så nära den gamla som möjligt.

Med hänsyn till ovan framförda förhållanden torde förf:s metod att använda permanenta mäsingsrör flera år i följd vara tillåtligt trots fluktuerande grundvattenstånd.

Grundvattnet har provtagits först sedan pumpkannen, gummislangarna och mäsingsröret passerats av en så stor mängd vatten att konstant ledningsförmåga erhållits. Härför erfordras c:a 500 ml vatten. Den mängd vatten, som till äventyrs rinner från markens ytlager längs med röret, kan därför icke orsaka några nämnvärda fel.

3. Grundvattnets kemiska egenskaper i sluttningar

Undersökningar av det rinnande grundvattnet ha i huvudsak bedrivits inom Bjurforsområdet i sluttningarna norr om Fröbenbenningens gård, samt på Skumpabergets nordsluttning.

Analysresultaten i fig. 9—18 visa att de vanligaste lösta, oorganiska ämnena i grundvattnet äro SiO_2 , Na, Ca, Mg och K i nu nämnd ordning. Järn, aluminium och mangan finnas i små mängder. Vid reducerande betingelser ökar framför allt järnhalten.

Vid tillgång på syre fastlägges järnet mycket snart, vilket som bekant i huvudsak sker i B-horisonten. Ökningen av järnhalten vid reducerande betingelser hänger intimt samman med en »anrikning» till följd av avdunstning.

Men det är icke endast fastläggningen på kemisk väg i B-horisonten som har betydelse, utan även det rent fysikaliska motståndet för vätskefasen att röra sig i de olika markskikten. Vissa näringsämnen förekomma som kolloider, andra som joner. Järn kan ju som Fe^{++} under reducerande betingelser vandra hur långt som helst, medan det så snart syre tillkommer mycket snabbt utfälls kolloidalt som ferriföreningar (O. TAMM 1931 s. 264). Aluminium däremot vandrar huvudsakligen som kolloid, varigenom även jordmaterialets finkornighet blir avgörande för längden av dess transport.

Genom att analysera det infiltrationsvatten, som från blottade berghällar fortsätter ned utefter hållytan under en jordart i en längre sluttning, kunna de olika näringsämnenas transport studeras. Vattnet passerar här icke markprofilen och dess olika horisonter. Syretillgången är vanligen god. Transportrörelserna studeras lämpligast på lokaler där provtagningar utefter hela sluttningen kunna göras inom högst ett dygn. Detta är nödvändigt med hänsyn till att grundvattnet i sluttningar med grova jordarter (t. ex. svallgrus) rör sig tämligen snabbt. Vill man följa en jons transportförhållanden, måste en sådan tidpunkt väljas att man med visshet kan fastslå att grundvattnet vid tillfället ifråga utgöres av kontinuerligt strömmande vatten. Möjligheterna därtill äro temporära — grundvattenströmningen är ofta endast iakttagbar några timmar eller högst något dygn i sträck. Lokalgrupp VII (fig. 9) är ett exempel på en sluttning där jonrörelserna kunnat följas i det silande grundvattnet.

Lokalgrupp VII

Lokalen ligger på sluttningen av Fröbenbenningen och består av svallgrus, sand och enstaka fläckar av svallad morän. Försöken inom denna lokalgrupp avsågo att söka följa grundvattnet från en sumpmark (högst upp på Fröbenbenningsbackarnas höjdplatå), som dräneras genom en svacka i sin norra ände. Grundvattnet kan sedan följas på grund av att det till huvudsaklig del synes rinna på den osvallade moränen, som underlagrar det genomsläppliga materialet, vilket stundom når 70 cm:s mäktighet. Sluttningens bestånd består av enstaka fröträd (äldersklass VII) av tall. Här och var finnas täta bestånd av självföryngrad tall (ålder vanligen 15–25 år) med enstaka granar.

Lokal A. 0–55 cm torv, därunder sandigt grus 55–100 cm. Därunder berggrund. Sumpskog med gles 40–50-årig tallskog, som först de 5–10 senaste åren fått långa toppskott. Enstaka björkar och även granar. Lokalen ligger omgiven av hällar, blottade eller med tunna jordavlagringar, varför varje litet nederbördstillskott levererar grundvatten åt sumpskogen. Grundvattenprov togs på 100 cm:s djup.

Vegetation: på tuvorna *Vaccinium Vitis-idaea* s, *Vaccinium Myrtillus* s, *Vaccinium uliginosum* e, *Vaccinium oxycoccus* e, *Viola palustris* e, *Deschampsia flexuosa* t, *Carex panicea* e, *Agrostis* sp., *Sphagnum Warnstorffianum* r, *Pleurozium Schreberi* r.

Mellan tuvorna: *Sphagnum Girgensohnii* r, *Polytrichum commune* r. Det sandiga gruset är hårt packat. Humuspodsolen synes nå ända ned till berggrunden.

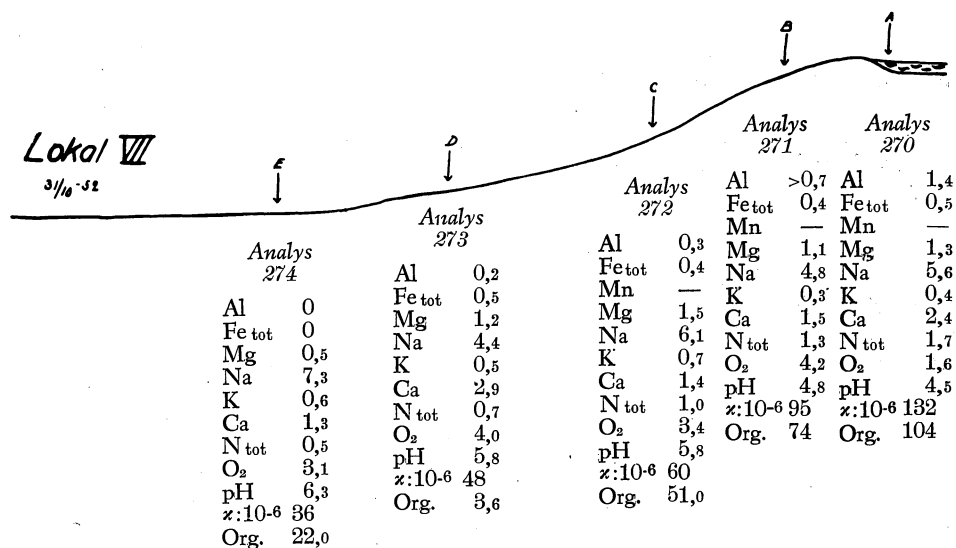


Fig. 9. Analyser av rinnande grundvatten inom lokalgrupp VII (mg/l).

Analysen von rinnendem Grundwasser der Lokalgruppe VII.

Lokal B. 0–70 cm+ grovt svallgrus med enstaka block. Mellan stenarna stundom starkt humushaltig sand. 20–30-årigt starkt överslutet tallbestånd. Grundvattenprov togs på 70 cm djup.

Fältskikt av *Vaccinium Myrtillus* s, *Trientalis europaea* s, *Linnaea borealis* e.

Bottenskikt av *Pleurozium Schreberi* r, *Luzula pilosa* e, *Deschampsia flexuosa* t, *Cladonia silvatica* e.

0–15 cm råhumus (inkl. förna), 15–18 cm askgrå blekjord, 18–70 cm+ humös sand.

Lokal C. 15–20-årig tät ungskog av företrädesvis tall men även gran. 0–30 cm ytstenig, svagt svallad morän, 30–45 cm+ sandig-moig morän. Grundvattnet synes i huvudsak dels rinna på den osvallade moränen och dels snabbt söka sig ned till rena svallgruslager, som finnas i större och mindre fläckar utefter hela sluttningen. Grundvattenprov togs på 45 cm djup.

Fältskikt av *Vaccinium Myrtillus* r, *Vaccinium Vitis-idaea* s, *Melampyrum nemorosum* e, *Euphrasia brevipila* e, *Deschampsia flexuosa* e, *Agrostis tenuis* e.

Bottenskikt av *Polytrichum commune* r, *Sphagnum Girgensohnii* rikligt förekommande i småsvackor, *Sphagnum robustum* s, *Hylocomium splendens* r, *Pleurozium Schreberi* t, *Dicranum undulatum* e.

Markprofilen är, där den sandig-moiga moränen når markytan och där *Sphagnum*- och *Polytrichum*-fläckar icke finnas, en vackert utbildad järnpodsol med 2–3 cm mäktig blekjord. Råhumus 2–5 cm mäktig.

Lokal D. Ytstenig svallad morän 0–35 cm. Därunder tydligt osvallad morän. Mycket gles ungallskog med fröständare. Grundvattenprov togs på 45 cm djup.

Vegetation i fältskiktet: *Vaccinium Vitis-idaea* r, *Majanthemum bifolium* s, *Oxalis acetosella* s, *Calamagrostis arundinacea* s, *Chamaenerion angustifolium*.

Bottenskiktet utgöres av *Pleurozium Schreberi* r, *Hylocomium splendens* e.

Obetydligt utbildad markprofil och hög humushalt mellan blocken i det ytsteniga lagret. Råhumus 2—5 cm och blekjord är 2—3 cm mäktig.

Lokal E. Glest förband av självsådda 15-åriga tallar med enstaka överståndare. Grusig, nedsvallad sand. Grundvattenprov togs på 140 cm djup.

Fältskiktet: *Calluna vulgaris* e, *Empetrum nigrum* e, *Vaccinium Vitis-idaea* e, *Potentilla erecta* e, *Melampyrum pratense* e, *Solidago Virgaurea* e, *Deschampsia flexuosa* e, *Calamagrostis arundinacea* e.

Bottenskiktet: *Dicranum* sp. e, *Hylocomium splendens* e, *Pleurozium Schreberi* e.

Det rinnande grundvattnet ger upphov till en relativt kraftig råhumusbildning, som är tämligen lucker och ända till 8 à 10 cm mäktig. Därunder en rostbrun sand med endast en ytterligt svag antydan till blekjord.

Som synes av fig. 9 avtager aluminiumhalten i grundvattnet kontinuerligt utefter sluttningen för att längst ner helt upphöra. För järnet är tendensen ungefär densamma. I analys 270 erhöles en halt av organiskt material på 104 mg/l, medan allra längst ned i mellansanden motsvarande halt (analys 274) blott blev 22 mg/l, en minskning till 21 %. Den totala kvävehalten reduceras till 29 % av dess ursprungliga värde. Kvävehaltens minskning och relation till grundvattnets halt av organiskt material framgår av fig. 10.

Lokal A utgöres av en försumpning, medan lokal B hade ett grundvatten, som rann så hastigt att dess rörelse i uppgrävd grop (grovt stenigt material) var fullt påtaglig. Så snart jordarten består av finare material är genast halten organiskt material lägre. Det vackra sambandet mellan kvävehalt och organiskt material tyder på att det lyckats förf. att verkligen följa en och samma vattenfraktions rörelse. Den minimihalt som totalkvävet kan beräknas uppnå enl. fig. 10 motsvarar ungefär regnvattnets kvävehalt (jfr C. O. TAMM 1951). Förmodligen fastlägges ammoniakkvävet tämligen fort och likaså det organiska kvävet i och med den organiska substansens fastläggning. Kvar skulle således i det silande grundvattnet blott vara en eventuell halt av nitratkväve.

Sträckan mellan lokalerna A—E är en 225 meter lång sluttning. Med hänsyn till sambandet mellan grundvattnets halt av kväve och organiska ämnen är det antagligt, att tillförseln av sjunkvatten ovanifrån till grundvattnet varit helt liten trots att betydande nederbördsmängder fallit strax före provtagningstillfället. — För Na^+ , K^+ och Ca^{++} sker icke någon motsvarande kontinuerlig ökning eller minskning av koncentrationen längsefter sluttningen. Lokal C har i förhållande till lokal B lägre halt av kalcium, men högre av natrium och kalium. Nerför hela sluttningen gäller att en ökning av tvåvärda joner i grundvattnet åtföljes av en minskning av envärda och tvärtom. Detta fenomen kan teoretiskt förklaras med den s. k. Donnanjämvikten (se vidare kap. V:7).

Ledningsförmågan avtager kontinuerligt längsefter sluttningen. Lokal E, som ligger nedanför den egentliga sluttningen, består av sand, åtminstone 1,5 m mäktig. Så snart det rinnande grundvattnet tränger in i denna avlagring blir ledningsförmågan den för friska marker normala.

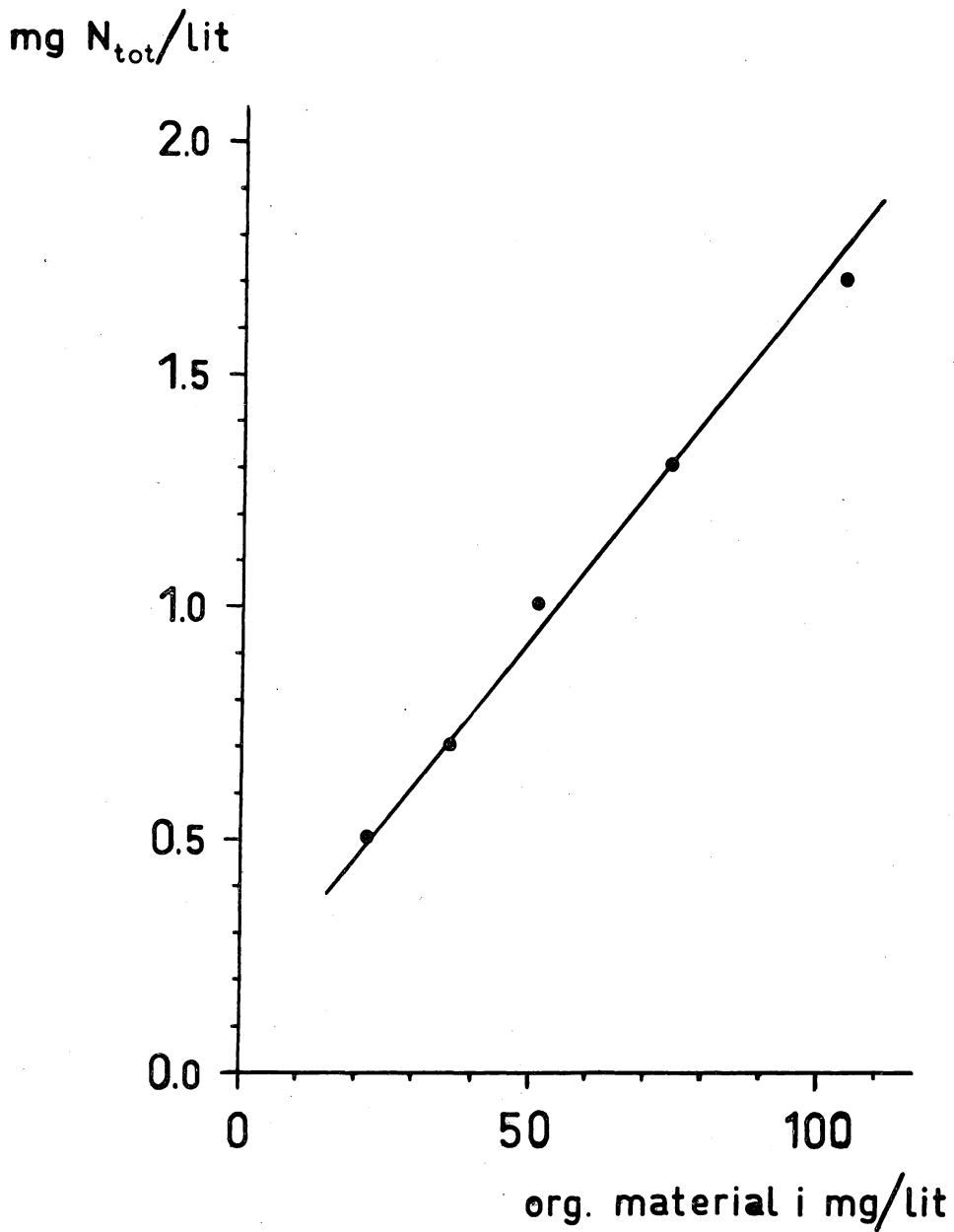


Fig. 10. Samband mellan kvävehalt (N_{tot}) och halten organiskt material inom lokalgrupp VII.
Zusammenhang zwischen Stickstoffgehalt (N_{tot}) und Gehalt an organischem Material in Lokalgruppe VII.

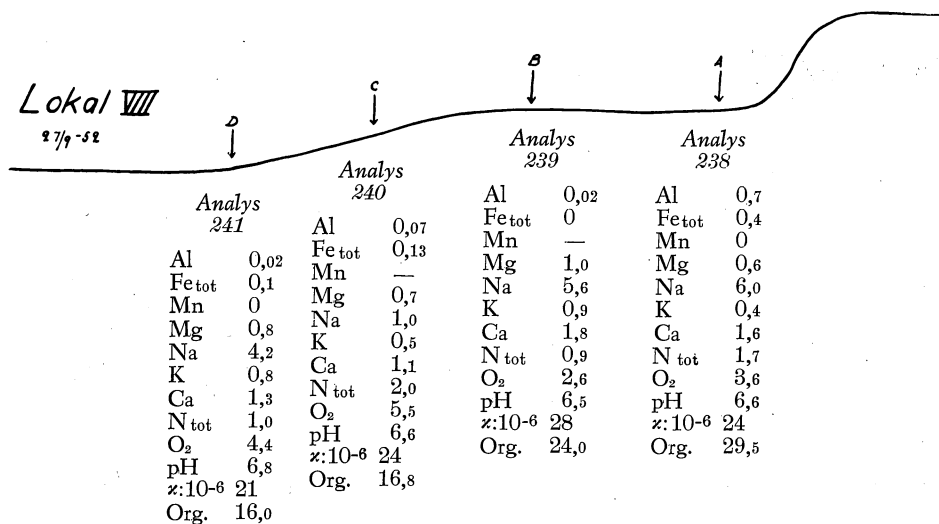


Fig. 11. Analyser av rinnande grundvatten inom lokalgrupp VIII (mg/l).

Analysen von rinnendem Grundwasser der Lokalgruppe VIII.

Inom lokalgrupp VIII med analysnummer 238—241 (Fig. 11) har ytterligare ett försök gjorts att följa grundvattnets förändringar i det rinnande grundvattnet utefter en sluttning. Denna lokalgrupp ligger på Skumpabergets nordsluttning, där de lösa avlagringarna i stora drag kunna anses vara tunnare än på Fröbenbenningsluttningarna.

Lokalgrupp VIII

Starkt utglesad tallskog, närmast hygge. Grupper med yngre (10—20-åriga) bestånd av framför allt tall men även gran. Området utgör en förlängning av Skumpabergets nordsluttning, som här består av svallgrus eller ytstenig, sandig-moig (svallad) morän.

Lokal A. 0—40 cm svallgrus, därunder fasta berget. Vattenprovet taget 5 m från kalspolad häll. 10—12-årigt tätt granbestånd (spontan) i ytterkanterna uppblandat med 3—7-åriga tallar (spontan).

Fältskiktet: *Chamaenerion angustifolium* e, *Melampyrum pratense* s, *Vaccinium Vitis-idaea* s, *Deschampsia flexuosa* t fläckvis g, *Calamagrostis arundinacea* e, *Dryopteris spinulosa* e, *Rubus idaeus* e, *Luzula pilosa* e, *Linnaea borealis* e, *Calluna vulgaris* fläckvis r.

Bottenskiktet: *Dicranum fuscescens* r, *Pleurozium Schreberi* r, *Dicranum undulatum* fläckvis rikligt, *Cladonia fimbriata*.

Jordmånstyp är ej tydligt utbildad till följd av det grova svallgruset. Förna 2—3 cm och råhumus 5—6 cm mäktig.

Lokal B. 5—7-åriga tallgrupper med smärre inblandning av något äldre gran. 0—75 cm ytstenigt svallgrus. Därunder berggrunden. Grundvattenprov togs på 75 cm djup. *Sphagnum Girgensohnii* finnes på den lilla fläck där provet togs. Grundvattnet sipprar fram utmed berghällen och fyller upp det på lokalen ganska mäktiga gruslagret. Betydligt finkornigare avlagringar finnas strax nedanför provpunkten.

Fältskiktet: *Calluna vulgaris* r, *Deschampsia flexuosa* enstaka fläckar, *Vaccinium Vitis-idaea* s, *Potentilla erecta* e, *Trientalis europaea* e.

Bottenskiktet: *Polytrichum commune* enstaka fläckar, *Sphagnum Girgensohnii* r, i den fläck där provet sögs upp.

Podsolering ej iakttagbar i det grova materialet.

Lokal C. Ytstenig (svallad) morän 0–40 cm. Därunder sandig-moig morän. Provet är taget på 40 cm djup, då den sandig-moiga moränen ej gav något vatten. Provpunkten ligger 40 m längre nerför sluttningen än lokal B. Lutningen är här helt obetydlig. Det s. k. ytvattnet sipprar lätt ner i gränshorisonten mellan det ytsteniga lagret och det finkornigare bottenlagret. 10–12-åriga granar bilda ett litet, tätt bestånd som omgives av enstaka lika unga tallar.

Fältskiktet: *Calluna vulgaris* r, *Vaccinium Vitis-idaea* r, *Deschampsia flexuosa* t, *Calamagrostis arundinacea* fläckvis r, *Majanthemum bifolium* e, *Solidago Virgaurea* e, *Potentilla erecta* e, *Trientalis europaea* e, *Linnaea borealis* e, *Melampyrum pratense* e.

Bottenskiktet: *Pleurozium Schreberi* r, *Hylocomium splendens* t.

Förna 3–5 cm och råhumus 6–7 cm mäktig. I det ytsteniga materialet finns rikligt med humusmaterial.

Lokal D. 0–90 cm grov mellansand, därunder sandig-moig morän. Provtagningsdjup 80 cm. Lokalen ligger ytterligare 35 m längre nedför nordsluttningen av Skumpaberget än lokal C. Starkt utglesad 60–70-årig tallskog.

Fältskiktet: *Calluna vulgaris* s, *Melampyrum pratense* e, *Majanthemum bifolium* e, *Deschampsia flexuosa* t.

Bottenskiktet: *Dicranum undulatum* fläckvis r, *Pleurozium Schreberi* y, *Hylocomium splendens* e.

Förna 2–3 cm och råhumus 4–5 cm mäktig. Blekjord svagt grådaskig 2–3 cm, därunder brunröd rostjord 10–15 cm djupt.

Analysserierna 238–241 (Fig. 11) visa emellertid icke hän på någon enhetlig grundvattenström. Skumpabergets flikighet ger stora förutsättningar för en oregelbunden svallning, vilken måste resultera i att grundvattnets jonkoncentrationer genom sidotillförsel kunna bli ganska oregelbundna. Analys 238 visar på höga A^{3+} och Fe^{3+} -halter men på en förhållandevis låg K^{+} -halt. Sambandet mellan halterna av kväve och organiska ämnen är icke rätlinjigt utefter hela sluttningen. Även ledningsförmågan varierar från lokal till lokal. I förf:s analyser visar Na^{+} -jonen den jämförelsevis minsta benägenheten för adsorption i marken. Förhållandet $Me^{+} : Na^{+}$ ger de olika jonernas adsorptionsegenskaper. I nedanstående tabell har förhållandet K^{+}/Na^{+} för de olika lokalerna inom lokalgrupperna VII och VIII beräknats.

Tabell 2. Jämförelse mellan K/Na i grundvattnet inom lokalgrupperna VII och VIII.

Vergleich zwischen K/Na im Grundwasser der Lokalgruppen VII und VIII.

Lokalgrupp	Analys-					
VII	nr	270	271	272	273	274
K/Na		0,071	0,062	0,12	0,11	0,08
Lokalgrupp	Analys-					
VIII	nr	238	239	240	241	
K/Na		0,06	0,16	0,5	0,19	

Inom lokalgrupp VII uppvisa analyserna 270 och 271 den högsta ledningsförmågan och de högsta Al^{3+} -halterna, men ha mycket låga K^+ -halter. Av kvoterna i tab. 2 (272, 273, 274) torde framgå hur effektivt K^+ fastlägges även vid förhållandevis korta transporter. Så snart grundvattnet kommer fram som ytvatten, dvs. källvatten, fastlägges kalium. Enligt O. TAMM (1920, s. 123) finnes inte som tyder på en särskild anrikning av K^+ i rostjorden. N. KARLSSON (1952) påpekar en viss anrikning av kalium vid en del källors utlopp enligt ett arbete av EBLER och FELLNER (1911). De sistnämnda författarna undersökte ett källvatten där förhållandet Na^+/K^+ var 35. Nedanför källans utlopp var förhållandet 0,09. Anrikningen skulle möjligen bero på att kolloidal kisel-syra ev. har en högre adsorptionsförmåga för kaliumsalter än för natriumsalter (jfr även LÉVIN och JOFFE 1947). Det synes som om man vanligen får låga K^+ -halter i ytvattnet, medan de istället ofta äro relativt höga i grundvattnet. För aluminium gäller det motsatta förhållandet, vilket framträder särskilt starkt för lokalgrupp XVIII (Grenholmen), där jordarterna äro kalkspat-påverkade. Ytvattnets höga aluminiumhalter överstiga där grundvattnets. Höga aluminiumhalter och låga kaliumhalter karakterisera sålunda i hög grad ytvattnet. Förhållandet Al/K kan sålunda utgöra ett medel för bedömande av huruvida man har att göra med yt- eller grundvatten, vilket även torde framgå av nedanstående tabell. Man kan som regel anse att vattnet på den överst belägna lokalen i en sluttning till största delen består av ytvatten med hänsyn till dess närbelägenhet till infiltrationsområdet (hållar etc.).

Tabell 3. Jämförelse mellan kvoten $\text{Al}^{3+}/\text{K}^+$ och Mg^{2+} -halten (mg/l) i grundvattnen inom lokalgrupperna VI, VII, VIII och IX.

Vergleich zwischen der Quote $\text{Al}^{3+}/\text{K}^+$ und Mg^{2+} -gehalt im Grundwasser der Lokalgruppen VI, VII, VIII und IX.

Lokalgrupp VII	Al/K	Mg	Lokalgrupp IX	Al/K	Mg
270 =	3,5	1,3	58 =	1	0,8
271 =	2,3	1,1	66 =	1	1,0
272 =	0,43	1,5	65 =	1,3	0,8
273 =	0,40	1,2	64 =	2,0	0,7
274 =	0,10	0,5			
Lokalgrupp VIII	Al/K	Mg	Lokalgrupp VI	Al/K	Mg
238 =	1,7	0,6	60 =	0,6	0,6
239 =	0,02	1,0	62 =	0,4	0,7
240 =	1,4	0,7	63 =	0,7	0,5
241 =	0,025	0,8			

Som synes av tab. 3, lokalgrupp VII, fastlägges magnesium vid transporten i grundvattnet, varvid ett minimivärde erhålles (0,5 mg/l), samtidigt som kalium ökar och aluminium minskar. I tabell 3 har medtagits lokalgrupperna VI och IX, där ovanstående delvis gäller.

Lokalgrupperna VI (fig. 12) och IX (fig. 13) utgöra de två västliga profillinjerna utmed Fröbenbenningssluttningarna (se lokalkarta fig. 8).

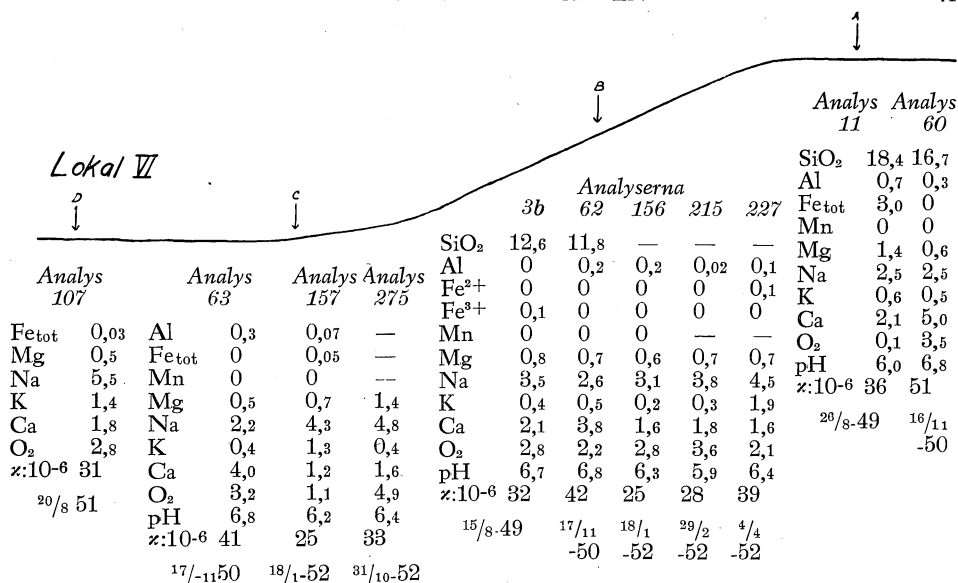


Fig. 12. Analyser av rinnande grundvatten inom lokalgrupp VI (mg/l).

Analysen von rinnendem Grundwasser der Lokalgruppe VI.

Lokalgrupp VI

Lokal A. Sumpskog, glest förband av mariga tallar, svagväxande björkar och i kanten relativt välutvecklade granar. Sumpskogen ligger i en sänka i berggrunden och bottensedimenten utgörs av svallgrus (eller starkt svallad morän). Grundvattenprov togs på 55 cm djup.

Fältskikt: på tuvorna: *Vaccinium Vitis-idaea* r, *Vaccinium uliginosum* e, *Calluna vulgaris* s.

Bottenskikt: *Pleurozium Schreberi* r. I bottenskiktet mellan tuvorna *Sphagnum Warnstorfianum* r, *Sphagnum fuscum* r.

35–45 cm mäktig torv ovanpå svallgruset.

Lokal B. Lokalen belägen i en svagt markerad strandvall i en sluttning med kvarlämnade fröträd av tall. Dessa kvarlämnade fröträd uppvisa Bjurfors kronoparks högsta boniteter och utgöra rester av de kända, vackra, s. k. Fröbenbenningsbestånden. Förutom tall förekomma även gran, klibbal, en och brakved. I omedelbar närhet av provtagningspunkten är markvegetationen örtrik. 0–25 cm ytstenigt starkt svallat material. 25–85 cm svallgrus. Därunder berggrunden. Grundvattenprov togs på 85 cm djup.

Fältskiktet: *Pteridium aquilinum* s, *Solidago Virgaurea* e, *Vaccinium Myrtillus* e, *Anemone nemorosa* e, *Calluna vulgaris* e, *Vaccinium Vitis-idaea* t, *Lathyrus montanus* e, *Fragaria vesca* e, *Viola Riviniana* e, *Melica nutans* r–s, *Agrostis tenuis* t, *Luzula pilosa* e, *Lycopodium clavatum* e.

Råhumus 5–7 cm och därunder 2–3 cm mäktig grådaskig blekjord, utbildad i det huvudsakligen steniga-grusiga, men också något sandiga ytlagret.

Lokal C. Sluttning med ungallskog (8–15 år), enstaka granar; kvarlämnade fröträd. 0–120 cm+ nedsvallad sand. Grundvattnet ligger tämligen konstant på c:a 85 cm djup.

Fältskiktet: *Vaccinium Vitis-idaea* y, *Pteridium aquilinum* e, *Majanthemum bifolium* s, *Trientalis europaea* e, *Deschampsia flexuosa* e.

Bottenskiktet: *Pleurozium Schreberi* r, *Hylocomium splendens* t.

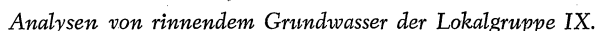
Råhumus 5–7 cm och blekjord 2–3 cm mäktig, nästan vit. Rostjorden tydlig blott 25–35 cm djupt.

Lokal D: Dränerad sumpskog nedanför sluttningen. Dränaget har medfört torrläggning periodvis, varvid risvegetation inkommit. Borrhålet står på gränsen mellan två växtsamhällen, det ena med *Calamagrostis arundinacea* s, *Sphagnum nemoreum* y, och *Sphagnum fuscum* r i bottenkiktet. Det andra växtsamhället kännetecknas av *Vaccinium Vitis-idaea* r och *Calluna vulgaris* r utgörande risvegetationer med för övrigt *Thelypteris Dryopteris* s, *Thelypteris Phegopteris* s, *Nardus stricta* e, *Agrostis tenuis* e, *Carex vaginata* e, *Pleurozium Schreberi* fläckvis r. Inom båda områdena förekomma *Pteridium aquilinum* s.

0—70 cm mellansand, 70—150 cm+ mjällättlera. Markprofilen närmast humuspodsol. Grundvattnet provtogs på 75 cm djup.

Inom lokalgrupp VI uppvisa analyserna såväl inom som mellan de olika lokalerna tämligen likartade jonkoncentrationer trots långa intervall mellan provtagningarna. Under våren och hösten, då man kan förmoda att vattentillgången är som rikligast i marken, erhålles de höga jonkoncentrationerna i grundvattnet, medan man vintertid och under sensommaren får något lägre värden. Variationerna äro emellertid små, varför man icke får draga några generella slutsatser om årstidens inverkan på katjonhalten på grundval av detta lilla material. — Kalciumhalten är störst inom sumpmarken, men avtager därefter i grundvattnet utefter sluttningen. Förekomsten av blåsippor på lokal B kan anses tyda på en viss kalkhalt i marken. Det är emellertid en gammal iakttagelse, vilken även bekräftas här, att man, trots en kalkfordrande vegetation, icke alltid erhåller särskilt höga kalciumhalter i grundvattnet. Framför allt gäller detta för lokaler i sluttningar med pårinnande vatten. Förklaringen härtill är sannolikt att utbudet av kalcium blir tämligen stort tack vare det rinnande vattnet, även om detta endast innehåller normala halter. Givetvis få de lösa jordarterna då icke vara så mäktiga, att örternas rötter ej nå det silande grundvattnet eller från detta uppstigande kapillärt vatten. Inom lokal B oscillerar grundvattenytan tämligen kraftigt till följd av att det strax ovanför liggande hållområdet utgör ett tämligen stort infiltrationsområde. (Dock synas de infiltrerande nederbörds mängderna först passera sumpmarken inom lokal A). Följden blir att grundvattenytan stundom kan ligga bara någon decimeter från markytan. Normalt ligger den dock på c:a 80 cm djup. Då det grova svallgruset ej innehåller kalkspat, är det uppenbart att de oftast mycket kortvariga perioder, under vilka grundvattnet kan anses nå örternas rötter, dock äro tillräckliga för att tillgodose blåsippornas kalkbehov.

Grundvattenproven ha varit lättast att taga i sumpmarkerna beroende på dessas höga grundvattenstånd. Även om strävan varit att taga prov av grundvattnet så djupt ner som möjligt, har det icke kunnat förhindras att proven många gånger kommit att till stor del även bestå av ytvatten. I grunda sumpmarker bilda nämligen grund- och ytvattnet ofta ett gemensamt vattenmagasin, varför man under perioder med hög nederbörd till följd av utspädningen rimligtvis bör erhålla ett tämligen elektrolytfattigt vatten. Denna utspädning av grundvattnet borde inom lokal A vara särskilt stor med hänsyn till det omgivande betydande hållområdet, varifrån vattentillförseln kommer. Emellertid har i själva verket sumpmarken i lokal A genomsnittligt de högst a kat-



Bottenskikt: *Pleurozium Schreberi* r, *Cladonia pyxidata* e i torrare lägen, *Sphagnum* sp. r.

Lokal B. Lokalen ligger i ett mindre grustag med svallgrus, där grusbrytningen för 30–35 år sedan avstannat på 1–1,5 meters djup beroende på underliggande osvallade morän. På denna morän sipprar grundvattnet fram och är relativt lätt att provtaga. I grustagets mitt finnes lågförmultnad torv med en mörk humusfärgad markprofil. Grundvattnet provtaget på 1,5 m djup.

Trädsiktet kring lokalen utgöres av högproduktiv barrblandskog med övervägande tall.

Busksiktet: *Rhamnus frangula* e, *Salix* sp.

Fältsiktet: *Vaccinium Vitis-idaea* e, *Viola palustris* e, *Potentilla erecta*, *Andromeda polifolia* e, *Vaccinium uliginosum* e, *Calluna vulgaris* e, *Carex vaginata* t, *Deschampsia flexuosa* e, *Deschampsia caespitosa* e, *Carex Oederi* e, *Nardus stricta* s.

Bottensiktet: *Polytrichum commune* r i fläckar, *Sphagnum palustre* r, *Sphagnum Girgensohnii*.

Lokal C. 0–65 cm grov mellansand, 65–75 cm+ sandig-moig, svagt svallad morän. Grundvattnet provtaget på 70 cm djup.

Trädsikt som föregående lokal.

Fältsikt: *Vaccinium Vitis-idaea* r, *Vaccinium Myrtillus* e, *Viola Riviniana* e–t, *Melampyrum pratense* e, *Majanthemum bifolium* s, *Thelypteris Phegopteris* e, *Pteridium aquilinum* e, *Melica nutans* e, *Agrostis tenuis* e, *Deschampsia flexuosa* e.

Bottensikt: *Pleurozium Schreberi* r, *Hylocomium splendens* fläckvis rikligt.

Markprofilen är järnpodsol. 3–5 cm tjock råhumus och 1–2 cm blekjord.

Lokal D. Mellansand till 1.5 m+. Utglesad tallskog men fortfarande med hög bonitet. Markprofilen järnpodsol med 5–6 cm råhumus, 2–3 cm blekjord samt rostjord tydlig ned till åtminstone 75 cm djup. Grundvattnet provtaget på 1.3 m djup.

Fältsikt: *Vaccinium Vitis-idaea* e, *Majanthemum bifolium* s, *Trientalis europaea* e, *Solidago Virgaurea* e, *Deschampsia flexuosa* s, *Luzula pilosa* e, *Dryopteris spinulosa* s–t.

Bottensikt: *Pleurozium Schreberi* r, *Hylocomium splendens*, fläckvis rikligt.

Inom lokal A utgöres prov 58 av ytvatten, medan analyserna 59 och 61 äro utförda på grundvatten, som provtagits på c:a 1 m djup. Proven 59 och 61 härstamma icke från samma borrhål, utan äro tagna ett par meter från varandra inom samma sumpmark. Grundvattenproven 92, 155, 213 och 214 äro tagna i samma borrhål som prov 59. Den höga kalciumhalten i prov 59 är unik, även om också de övriga analyserna inom lokal A visa förhållandevis höga värden. Dessa höga kalciumhalter kunna tänkas härröra från ej kända urkalkstenförekomster, dolda av de kvartära avlagringarna. Därmed skulle också den höga jonkoncentrationen i ytvattnet (analys 58) vara mera förklarlig. Om man emellertid bortser från just denna lokal, så uppvisa gruppens övriga lokaler extremt låg ledningsförmåga i sina grundvatten. Äro sålunda jordarterna grova, sluttningens lutning c:a 1:6 och infiltrationsområdet stort, så erhålles en utspädning av grundvattnet, trots att den överst belägna lokalen måhända erhåller ett särskilt katjontillskott genom vittringsverkan från berggrunden. Knappast någon av de lokaler som förf. undersökt å andra liknande sluttningar har haft så låga κ -värden i sitt grundvatten som denna lokalgrupp. Möjligen kan lokalgrupp VIII (se föreg. sidor) jämföras med nr IX. Båda dessa lokalgrupper ligga nedanför

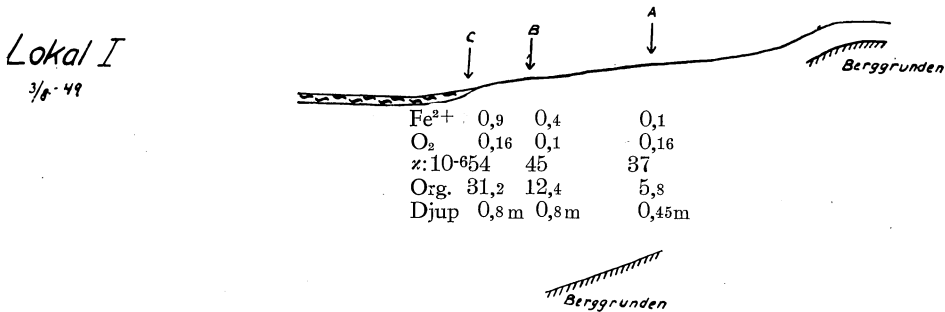


Fig. 14. Analyser av rinnande grundvatten inom lokalgrupp II (mg/l).

Analysen von rinnendem Grundwasser der Lokalgruppe I.

samma stora hållområde, varifrån en betydande infiltration erhålles även vid jämförelsevis små nederbörds mängder.

Man skulle sålunda knappast förvänta att erhålla någon utspädning av grundvattens jonkoncentrationer nedanför ett helt litet infiltrationsområde. Lokalgruppen I (fig. 14) lämpar sig för en undersökning av denna fråga. Infiltrationsområdet för denna grupp utgöres blott av en c:a 200 m² stor hållyta nedanför vilken lokalerna A—C ligga tämligen nära varandra.

Lokalgrupp I

Lokalgruppen ligger i en svag sluttning (vid lokal A c:a 30 m från berg i dagen) och sträcker sig knappt hundra meter i sydlig riktning mot en nedanför liggande dikad sumpmark. Medelålders barrblandskog med övervägande tall i riktning mot berghällen och gran mot sumpmarken. Berggrunden utgöres av den vanliga leptitgnejsen.

Lokal A. 0—10 cm sand, därunder svallgrus, som på 45 cm djup ligger direkt på berg-hällen. I sanden svagt utbildad blekjord, högst ½ cm mäktig, och därunder ljus gulröd rost-jord. Vattenprovet togs på 45 cm djup.

Fältskiktet: *Vaccinium Vitis-idaea* e, *Pteridium aquilinum* e, *Melampyrum pratense* e, *Majanthemum bifolium* e, *Vaccinium Myrtillus* t.

Bottenskiktet: *Hylocomium splendens* r, *Pleurozium Schreberi* r, *Dicranum undulatum* e.

Lokal B. 0—20 cm sand, därunder svallgrus 20—80 cm och därunder några cm osvallad morän och sedan berggrunden. Vattenprovet togs ovan denna morän. Markprofilen utgöres närmast av en järn-humuspodsol.

Fältskiktet: *Vaccinium Myrtillus* t, *Vaccinium Vitis-idaea* t, *Calluna vulgaris* e, *Trientalis europaea* e, *Majanthemum bifolium* e.

Bottenskiktet: *Hylocomium splendens* r. I små svackor *Sphagnum Girgensohnii* r, *Polytrichum commune* fläckvis r.

Lokal C. Övervägande gran med stora årsringar (40—50-årig), gles inblandning av björk. 0—20 cm torv, 20—45 cm mellansand, därunder svallgrus till 80 cm+. Humuspodsol. Högt grundvattenstånd.

Fältskiktet: *Vaccinium Myrtillus* e, *Vaccinium Vitis-idaea* e, *Ramischia secunda* e, *Trientalis europaea* e, *Melampyrum pratense* e.

Bottenskiktet: På stubbar *Hylocomium splendens* r, *Pleurozium Schreberi* r, i sänkor *Sphagnum* sp. r, *Polytrichum commune* r.

Som synes av ovanstående lokalbeskrivning togs prov av grundvattnet dels ovan hällen under ett svallgruslager (lokal A) och dels (lokal B) i gränsen mellan svallgruset och den osvallade moränen. Längst ner skedde provtagningen i sumpmark. Provtagningen skedde den 30/7 1949, några dagar efter det att 58 mm regn fallit. Trots denna höga nederbörd blev som synes av fig. 14 den utspädande effekten på grundvattnet, i överensstämmelse med förf:s ovannämnda förväntningar, icke lika stor som för lokalgrupperna VIII och IX. Förf. anser följaktligen att grundvattnets jonkoncentrationer mera påverkas av infiltrationsområdets storlek, än av tidpunkterna för provtagningen.

Det är emellertid uppenbart att årstiden spelar en viss roll vid provtagningen av grundvattnet, även om det tidigare (TROEDSSON 1952) visats att katjonhalterna i grundvattnet under året i dess helhet vanligen hålla sig tämligen konstanta. Exempel på en viss årstidsvariation finnas dock, främst inom plana områden, där vattenrörelserna äro små. Vi få tillfälle att längre fram återkomma till dylika områden, och skola här endast diskutera huruvida man i samband med en längre torka under vegetationsperioden kan erhålla höga halter av växtnäringssämnen i grundvattnet även i sluttningar, där infiltrationsområdena äro tämligen stora. Grundvattnets rörelser i sluttningar kunna icke anses pågå med samma intensitet året runt. Smärre avsatser i en sluttning, merendels beroende på underliggande berggrunds ytbeskaffenhet, förekomst av finkorniga bottensediment etc. kunna även giva upphov till oregelbundna grundvattenrörelser. Förutsättningar finnas följaktligen för att mindre vattenstagnationer kunna uppstå även i en tämligen brant sluttning. På så sätt bildade vattenförråd kunna under torrperioder tänkas komma att undergå en koncentrerings till följd av avdunstning och minskad eller helt avstannad tillrinning. Exempel på en sluttning, där dylika förhållanden råda, utgör lokalgrupp II (fig. 15). Även denna ligger på sluttningen av Fröbenbenningsbackarna (se lokalkarta fig. 8).

Lokalgrupp II

Belägen på sluttningen av Fröbenbenningsbackarna. Överst på högsta planet finnas enstaka försumpningar i de hållkar som förekomma. För övrigt äro de lösa avlagringarna tunna, högst någon meter mäktiga, och bestå av svallgrus. Utefter sluttningen finnas såväl osvallade moräner som alla övergångar till det rena svallgruset. På sluttningen synnerligen produktiv barrblandskog. Föryngringen är synnerligen god i de stundom av storm starkt utglesade bestånden.

Lokal A: Hygge med enstaka småbjörkar, rönn och hallonbuskar. I det förhållandevis grova svallgruset, som ligger direkt på hällen, är ingen tydlig markprofil utbildad. Humuspartiklar utfylla mellanrummen mellan stenarna och göra profilen mörkt brun till färgen.

Fältskiktet: *Vaccinium Vitis-idaea* r, *Vaccinium Myrtillus* t, *Majanthemum bifolium* e, *Linnaea borealis* e, *Solidago Virgaurea* e, *Deschampsia flexuosa* t.

Bottenskiktet: *Pleurozium Schreberi* r, *Hylocomium splendens* t, fläckvis rikligt med *Cladonia rangiferina*. *Polytrichum commune* fläckvis rikligt.

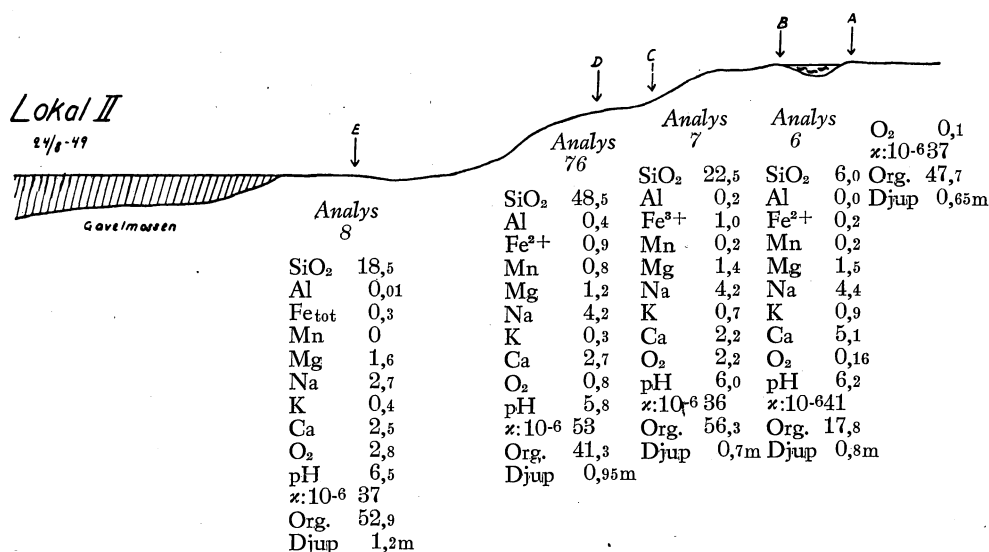


Fig. 15. Analyser av rinnande grundvatten inom lokalgrupp II (mg/l).

Analysen von rinnendem Grundwasser der Lokalgruppe II.

Lokal B: Ligger på en strandvall strax nedanför Fröbenbenningsbackarnas högsta höjd. Provet togs alldeles i kanten av en svacka med fuktighetsbetonad vegetation. Barrblandskog i högsta växtkraft, tydligen fullständigt opåverkad av sumphålet intill. Svagt svallad, sandigmoig morän. Markprofilen utgöres av en humuspodsol med en svagt utbildad humös blekjord.

Fältskiktet: *Vaccinium Myrtillus* e, *Vaccinium uliginosum* e, *Ledum palustre* e, *Vaccinium Vitis-idaea* e, *Andromeda polifolia* t, *Agrostis canina* e.

Bottenskiktet: *Polytrichum commune*, fläckvis rikligt, *Sphagnum* sp.

Lokal C: Lokalen ligger på ett starkt sluttande plan (c:a 1:5), 0–30 cm torv, 30–65 cm svallgrus, därunder osvallad morän. Skogssamhället utgöres huvudsakligen av tall med insprängd gran. Trädens växt synes ej vara nedsatt av markens ganska höga fuktighetsgrad. Markprofil ej utbildad i svallgruset.

Fältskiktet: *Vaccinium Myrtillus* t, *Vaccinium Vitis-idaea* fläckvis r, *Majanthemum bifolium* e, *Trientalis europaea* e, *Luzula pilosa* e, *Deschampsia flexuosa* t.

Bottenskiktet utgöres av *Sphagnum*-fläckar rikligt, även *Hylocomium splendens* t, *Pleurozium Schreberi*.

Lokal D: Provpunkten ligger mitt i en synnerligen vacker tallföryngring med enstaka insprängda smågranar samt ett par små enar och rönnar. 0–40 cm starkt humös sand, därunder svagt svallad morän, som på 70 cm djup vilar på osvallad sandigmoig morän. Markprofilen otydlig, möjligen antydning till blekjordsbildning.

Fältskiktet: *Vaccinium Vitis-idaea* t, *Vaccinium Myrtillus* t, *Melampyrum pratense* e, *Anemone Hepatica* e, *Melica nutans* e, *Viola Riviniana* e, *Lathyrus montanus* e, *Thelypteris Dryopteris* e.

Bottenskiktet: *Hylocomium splendens* e, *Pleurozium Schreberi* y.

Lokal E: Provpunkten ligger på den lägsta terrassen. 0—120 cm+ mellansand. Rostjordsprofil med 1 cm blekjord vackert utbildad. Råhumus 3—5 cm mäktig. Utomordentligt vackert tallbestånd med god föryngring även av gran.

Fältskiktet: *Vaccinium Vitis-idaea* r, *Fragaria vesca* e, *Calluna vulgaris* t, *Potentilla argentea* e, *Majanthemum bifolium* e, *Pteridium aquilinum*, *Dryopteris Phegopteris*, *Deschampsia flexuosa* t, *Calamagrostis arundinacea* e—t.

Bottenskiktet: *Pleurozium Schreberi* r, enstaka fläckar med renlav.

Även om man har all anledning att förmoda att grundvattnet inom lokalerna B—D (lokalgrupp II) tidvis är stillastående och saknar tillrinning, så synas dessa smärre sumpfläckar icke ha någon menlig inverkan på skogsbeståndets utveckling. Inom lokal C är t. ex. torvtäckets medeltjocklek 30 cm (max. 45 cm) men trots detta förefinnes en utomordentligt vacker självföryngring av tall. Den kemiska analysen av grundvattnet inom lokal C visar hög järnhalt, en i jämförelse med övriga lokaler inom Fröbenbenningsbackarna hög syrehalt och en låg ledningsförmåga. Den relativt höga syrehalten tyder på rörligt vatten, medan järn-, magnesium- och aluminiumhalterna antyda ett stillastående vatten. Lokal D, som blott ligger c:a 25 m från lokal C, har ett mera utpräglat stillastående grundvatten, medan lokal E har ett typiskt rörligt grundvatten.

Sammanfattningsvis ha vi sålunda inom lokalgrupp II på de högst upp på Fröbenbeningssluttningen belägna lokalerna (A och B) ett av en utpräglat sumpmark påverkat grundvatten. Längre ned på sluttningen (lokal C) växer visserligen en tydligt sumpartad vegetation, men å andra sidan förefinnes ett grundvatten som enligt de kemiska analyserna kan vara såväl rinnande som stillastående. Ytterligare något längre ned på sluttningen (lokal D) få vi ett stillastående grundvatten med typisk friskmarksvegetation för att längst ner (lokal E) få ett rörligt grundvatten. De tidigare framlagda grundvattenanalyserna ha — liksom O. TAMMS ovan anförda undersökningar — visat att man i stora drag kan skilja mellan grundvattnets beskaffenhet inom sumpområden och friska marker. En reducerande miljö (sumpområden) ger vanligen upphov till högre katjonhalter men lägre syrevärden än en oxiderande miljö (friska marker). För lokalgrupp II äro miljöerna till synes sammanblandade. Orsaken till de något egendomliga grundvattenförhållandena härstädes vill förf. söka i grundvattnets sätt att röra sig. Framför allt är det som nämnts två lokaler nämligen C och D, som markant avvika från det normala. Lokal C har sumpvegetation men ett grundvatten, som i fråga om syrehalt har det rörliga grundvattnets egenskaper, medan lokal D har friskmarksvegetation men stillastående grundvatten. Nu förhåller det sig emellertid så, att lokal C ligger på ett starkt sluttande plan och visserligen har torv i ytan men därunder svallgrus ner till 65 cm djup, där den sandig-moiga moränen ligger. Provtagningen har här skett i det vatten som rinner ovan den osvallade moränen, och som sålunda — förutom måhända vid perioder av högt grundvatten — är tämligen oberoende av det från markytan perkolerande sjunkvattnet. Lokal D däremot har på c:a 70 cm:s djup en osvallad morän, som uppåt tämligen diffust övergår i en svagt svallad morän. Detta

förklarar varför grundvattnet på denna lokal rör sig mycket långsamt eller är nästan stillastående. Den långsammare och stundom nästan helt upphörande grundvattenrörelsen behöver i en sådan sluttning som det här är frågan om icke alltid giva upphov till sumpvegetation. Sumpvegetationen på föregående lokal (lokal C) kan helt vara dikterad av ofta förekommande höga grundvattenstånd. En snabb genomrinning i svallgruset på lokal C av en kraftig infiltration uppifrån höjderna kan nämligen tänkas bli förhindrad på grund av de nedanför på lokal D liggande osvallade moränförekomsterna.

Här ha sålunda påträffats tvenne viktiga egenheter i skogsmarkens vattenhushållning. 1) I en sluttning som den, vari lokalgrupp II är belägen, utgör markvegetationen icke alltid ett indicium på grundvattnets kemiska egenskaper. 2) Grundvattnet rinner ovanpå en osvallad morän utan att till synes i någon nämnvärd grad tränga ned uti denna. Jordarternas egenskaper torde sålunda ha större betydelse för grundvattnets rörelser i dylika sluttningar, än vad markprofilen stundom anger.

Lokalgrupp II ger sålunda — främst på lokalerna A och B — exempel på smärre vattenmagasin, som fått höga jonkoncentrationer till följd av avdunstning. Förhållandet är måhända likartat för lokal D, även om grundvattennivån på denna lokal ej är tillräckligt hög för att sumpmarksvegetation skall uppstå. Exempel på att väl avskilda vattenmagasin i en sluttning med rinnande grundvatten genom avdunstning kunna erhålla ett tämligen jonrikt vatten framvisas av lokalgrupp III (fig. 16).

Lokalgrupp III

Lokalgruppen ligger i Fröbenbenningsbackarnas östra del. På grund av de synnerligen tunna kvartära avlagringarna högre upp i backen utgöras de flesta lokalerna därstädes av små svackor, skrevor o. dyl., i vilka vattensamlingar gärna uppstå. Högproduktiva barrblandbestånd påträffas egentligen först längre ner, på sandplanet, där lokalerna D—E äro belägna. I överensstämmelse med förhållandena inom övriga lokalgrupper i Fröbenbenningsbackarna finnas nämligen här tämligen mäktiga svallsandsavlagringar. Av allt att döma rinner grundvattnet på den oftast osvallade moränen i dess kontakt med den överlagrande sanden.

Lokal A: Tämligen kort och utglesad tall med någon enstaka insprängd björk. Även rönn e, och hallonbuskar e.

Fältskiktet: *Vaccinium Vitis-idaea* r—y, *Vaccinium Myrtillus* e, *Ledum palustre*, *Andromeda polifolia* e, *Calamagrostis arundinacea* e, *Deschampsia flexuosa* t—e.

Bottensikt: *Pleurozium Schreberi* r, *Hylocomium splendens* t, *Dicranum* sp. fläckvis r, Fläckvis rikligt med *Cladonia rangiferina*.

Markprofilen visar en vackert utbildad rostjord i tämligen finkornig morän. Mäktigheten av förnaskikt 7 cm, råhumus 2 cm, blekjord 3 cm.

Lokal B: Rismo med svallgrus i botten. Enstaka korta tallar och förkrymta björkar och granar. Jordmånstyp ej utbildad.

Fältskiktet: *Vaccinium uliginosum* r, *Ledum palustre* r, *Calluna vulgaris* fläckvis r, *Carex globularis* e.

Bottensiktet: *Sphagnum fuscum*, *Sphagnum* sp.

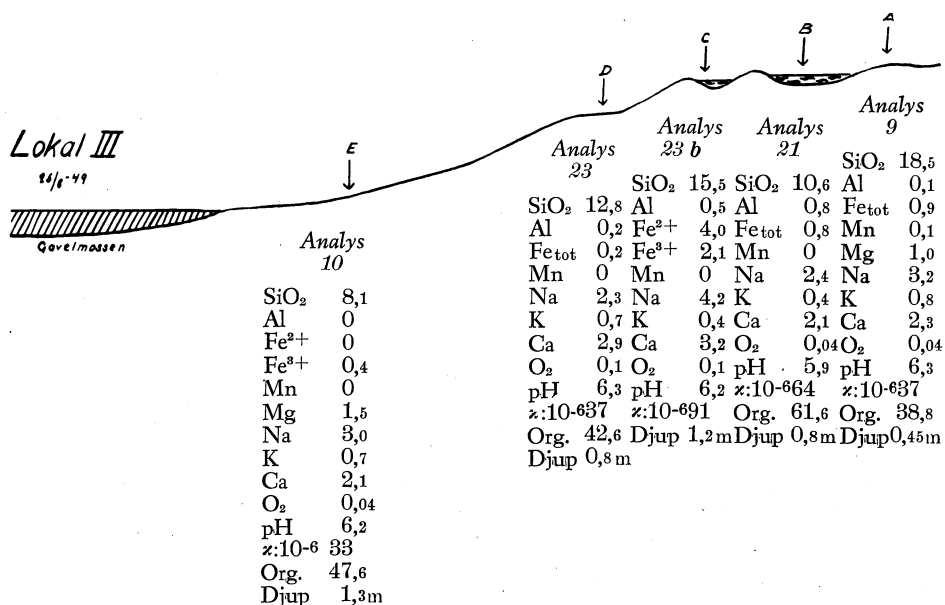


Fig. 16. Analyser av rinnande grundvatten inom lokalgrupp III (mg/l).

Analysen von rinnendem Grundwasser der Lokalgruppe III.

Lokal C: Mindre fördjupning på osvallad morän i skreva. Grovt material överst gör att jordmånstypen ej kommit till tydlig utbildning.

Vegetationen utgöres av *Calluna vulgaris* r, *Vaccinium Vitis-idaea* r, *Pleurozium Schreberi* r—t och vid själva provpunkten *Sphagnum* sp.

Lokal D: Mindre plan, där moränen legat i skydd för svallning. Bestånden börja bli tämligen höga och föryngringen är god. 0—20 cm ytstenig morän. 20—80 cm+ sandigmoig morän. I markprofilen är blekjord ej iakttagbar, medan däremot rostjorden är vackert utbildad i den finkorniga moränen.

Fältskiktet: *Vaccinium Myrtillus* t, *Vaccinium Vitis-idaea* r, *Majanthemum bifolium* e, *Melampyrum pratense* e, *Viola Riviniana* e, *Solidago Virgaurea* e, *Agrostis tenuis* e, *Melica nutans* e, *Deschampsia flexuosa* e.

Bottenskiktet: *Pleurozium Schreberi* r, *Rhytidiadelphus triquetrus* e, *Hylocomium splendens* t—e.

Lokal E: Vackert tallbestånd på det plana sandområdet söder om Gavelmossen. I sanden är jordmånstypen ytterst svagt utbildad med svag antydning till blekjord och därunder en mycket ljus rostjord som redan på 50 cm djup övergår i C-horisontens ljusa färg. Sandigmoig, osvallad morän på 1.3 m djup.

Fältskiktet: *Vaccinium Vitis-idaea* r, *Vaccinium Myrtillus* t—r, *Empetrum nigrum* e, *Potentilla erecta* e, *Thelypteris Dryopteris* e, *Melampyrum pratense* e, *Luzula pilosa* e, *Deschampsia flexuosa* e, *Calamagrostis arundinacea* e.

Bottenskiktet: *Pleurozium Schreberi* r, *Hylocomium splendens* e, *Dicranum* sp.

Inom lokalgrupp III har jag försökt taga prov av grundvattnet så djupt ner som möjligt. På lokalerna A—C har sålunda prov kunnat tagas direkt på berghällarna på de

resp. djup som fig. 16 anger. Lokalerna B och C bestå av grunda hållkar med tämligen grova jordarter, medan lokal A har en moig morän, som legat skyddad i en spricka i berggrunden. Inom hållkaren är de lösa jordarternas medelmäktighet c:a 50 cm. Det är därför sannolikt att avdunstningen inom framför allt lokalerna B och C bör bidra till en viss förhöjning av jonkoncentrationerna trots att ovanför liggande infiltrationsområde är tämligen stort. Längre ned för sluttningen har grundvattnet en lägre ledningsförmåga, vilket skulle kunna förklaras av en ökad rörelsehastighet. Därpå tyder också det förhållandet att aluminiumhalterna avtaga utefter sluttningen, vilket ju är typiskt för ett rörligt grundvatten. Den låga syrehalten pekar emellertid i motsatt riktning. Provtagningen inom denna lokalgrupp skedde efter en period på nära tre veckor med föga nederbörd, varför det är antagbart att grundvattenrörelserna varit små och sålunda tillfälligtvis ej kunnat förhindra uppkomst av ett nästan syrefritt grundvatten. Även katjonkoncentrationerna inom lokalerna D och E äro emellertid närmast jämförbara med de halter som grundvattnet i friskmarksjordar äger. Jonbytesjämvikten har sålunda ej rubbats trots den tillfälligtvis långsammare grundvattenrörelsen. En tendens till förändring av grundvattnets sammansättning kan dock skönjas i den förhållandevis höga Fe^{3+} -halten inom lokal E. Grundvattnets rörelsehastighet borde med hänsyn till lutningsförhållandena vara större inom lokal D än inom lokal E. Att så emellertid icke är fallet förklarar förf. med att grundvattnet har lättare att passera i gränsskiktet mellan den osvallade moränen och den ovanpå liggande sanden på lokal E än genom den osvallade moränen på 80 cm djup på lokal D, trots att lutningen där är betydligt större. Återigen ha vi påträffat ett fall, där grundvattnet av allt att döma rör sig ovanpå den osvallade moränen utan att perkolera genom denna. En relativt intensiv vattenrörelse ovan den osvallade moränen skulle, i de fall då denna når själva markytan, vara liktydig med en betydande ytavrinning, som kan förekomma i sluttningar. Vi ha inom lokal IX påvisat en viss utspädning av grundvattnet i fall där större ytvattenmängder från hållområden infiltreras från en sluttning in i grovt material. Ledningsförmågan i det där erhållna grundvattnet låg mellan $21 \cdot 10^{-6}$ och $32 \cdot 10^{-6}$. När grundvattnet rinner på den osvallade moränen (lokal E, lokalgrupp III) blir ledningsförmågan ca $35 \cdot 10^{-6}$, d v s. erhåller ungefär samma värde som de friska markernas grundvatten enl. TROEDSSON (1952). Det synes sålunda, som om några väsentligare skillnader mellan det grundvatten, som rinner utefter en sluttning ovanpå en osvallad morän, och det grundvatten, som finnes exempelvis i normal, plan järnpodsolmark, ej föreligga. För att emellertid närmare undersöka storleksordningen av eventuella skillnader i grundvattnenas kemiska sammansättning har infiltrationen i detalj följts inom lokalgrupp IV (fig. 17).

Lokalgrupp IV utgör den östligast belägna profillinjen inom Fröbenbenningsförsöken. Jag har velat undersöka en lokal med så tunna kvartära avlagringar som möjligt, för att nederbördens nedträngande i marken lättare skall kunna studeras.

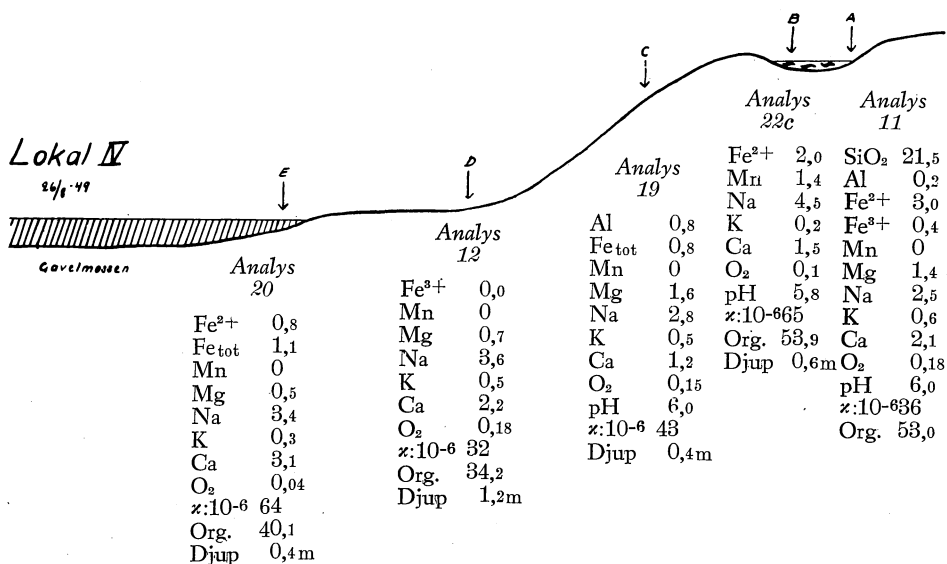


Fig. 17. Analyser av rinnande grundvatten inom lokalgrupp IV (mg/l).

Analysen von rinnendem Grundwasser der Lokalgruppe IV.

Lokalgrupp IV

Lokalen är belägen utefter Fröbenbenningsbackarnas nordöstligaste sluttning. Överst äro de kvartära avlagringarna tunna eller obefintliga, medan sanden längre ned är 1,5–2 meter mäktig. Till följd av det tunna jordtäcket är skogen svagt växtlig ända ned till lokal D. Där bli barrträden allt längre och kraftigare för att längst ner på sandplanet övergå i en jämn och vacker ungskog.

Lokal A: Marken utgöres av ett 5–10 cm mäktigt grustäck ovan berghällen. Enstaka martallar, *Vaccinium Vitis-idaea* s, *Pleurozium Schreberi* t, *Cladonia rangiferina* r i fläckar. (Grundvattnet kunde icke sugas upp med rör på vanligt sätt, utan samlades upp droppvis i små flaskor, alltefter som det sipprade fram.)

Lokal B: Lokalen belägen i nedre delen av en trågformad sänka i berggrunden. Enstaka martallar. *Vaccinium Vitis-idaea* s, *Vaccinium Myrtillus* e, *Pleurozium Schreberi* t, *Cladonia rangiferina* r i fläckar. Jordmånstyp ej utbildad i det steniga, humusrika lagret, som blott är 1,5–2 dm mäktigt.

Lokal C: Begynnande tillväxt i längd på tallarna och därmed sammanhängande större slutenhet hos bestånden. Markprofilen är järnpodsol med 4 cm:s råhumus, 1–2 cm:s blek-jord. På 25 cm:s djup C-horisonten. Vattenprovet togs i en sandig-moig morän. 0–35 cm sandigt grus, 35–40 cm+ osvallad sandig-moig morän. C:a 2 timmars sugtid för 25 ml prov.

Fältskiktet: *Vaccinium Myrtillus* t, *Pteridium aquilinum* e, *Thelypteris Phegopteris* e, *Majanthemum bifolium* e, *Anemone Hepatica* e, *Viola Riviniana* e, *Deschampsia flexuosa* t. Bottenskiktet: *Pleurozium Schreberi* r, *Hylocomium splendens* r.

Lokal D: Lokalen är belägen på det nedanför höjden befintliga sandplanet, som sluttar svagt mot Gavelmossen. Vacker rostjord utbildad i sanden. 3–5 cm råhumus, 2 cm blek-jord. C-horisont på 40 cm djup. Därunder osvallad sandig-moig morän.

Fältskiktet: *Vaccinium Vitis-idaea* t, *Vaccinium Myrtillus* e, *Melampyrum nemorosum* e, *Majanthemum bifolium* s, *Pteridium aquilinum* e, *Luzula pilosa* e, *Agrostis tenuis* e, *Calamagrostis arundinacea* e.

Lokal E: Provet taget nere vid laggen till Gavelmossen. Enstaka tallar, margranar och björkar, al och brakved.

Fältskiktet: *Calluna vulgaris* s, *Viola palustris* e, *Ledum palustre* e, *Andromeda polifolia* e, *Potentilla erecta* e, *Agrostis canina* e, *Deschampsia flexuosa* t, *Carex vaginata* e.

Bottenskiktet: *Sphagnum* sp. r.

Lokalen A (lokalgrupp IV) äger en synnerligen torftig vegetation och det tunna (stundom obefintliga) gruslagret ovanpå hällen är mer eller mindre humusimpregnerat. Det under detta grus erhållna vattnet torde ej kunna betraktas såsom grundvatten utan snarare såsom ytvatten med hänsyn till att det hade runnit ett tiotal meter utefter hällen och därefter infiltrerats i ett mycket tunt gruslager. Detta gruslager utfyller en c:a 40 cm lång, 30 cm bred och blott 5—10 cm djup svacka i berggrunden. Nedanför denna svacka kunde uppsamlingen av det framsipprande vattnet ske med hjälp av små flaskor. Den ovanför liggande hällen var icke helt kalspolad, dessutom kläddes den fläckvis av *Cladonia rangiferina*. Vattnets (lokal A) ledningsförmåga motsvarar närmast den för de friska markernas grundvatten normala jonkoncentrationen. Däremot är järnhalten relativt hög och syrehalten låg inom lokal A, såsom i sumpmarkernas grundvatten.

Lokalerna C och D äro provtagna i gränsskiktet mellan den osvallade och den svalade moränen, och där är den kemiska sammansättningen av grundvattnet snarlik lokal A. Vattenrörelserna äro långsammare i den osvallade moränen än i den svalade moränen, varför man erhåller en något högre ledningsförmåga hos grundvattnet inom lokal C än inom lokal D. I sumpmarken vid lokal E blir katjonhalten hög.

Inom denna lokalgrupp är det följaktligen påvisat, att det ytvatten som rinner ovan hållmark eller i grovt svallgrus har ungefär samma kemiska egenskaper som det grundvatten, som översilar den osvallade sandig-moiga moränen. Dvs. ytvattnet och grundvattnet framvisa inga större skillnader i kemiskt avseende.

Sammanställas dessa resultat med de inom lokalgrupp III erhållna, har därmed påvisats att det ej föreligger någon större skillnad i den kemiska sammansättningen mellan ytvattnet, grundvattnet i plana, friska marker och det i sluttningar silande grundvattnet. Beträffande grundvattnets egenskaper inom plana, friska marker äro hittills utförda analyser i vårt land tämligen fåtaliga, varför vi tillsvidare icke skola beröra detta vatten närmare.

Likheterna i den kemiska sammansättningen mellan ytvattnet och det rinnande grundvattnet i de här undersökta sluttningarna skulle man möjligen kunna förklara med att de båda vattenfraktionerna icke äro nämnvärt åtskilda. Dvs. det vatten, som förf. tagit prov av, skulle utgöras av ett mellanting mellan grundvatten och ytvatten. Man får därvid tänka sig att i detta fall det på hållar rinnande vattnet såväl som det

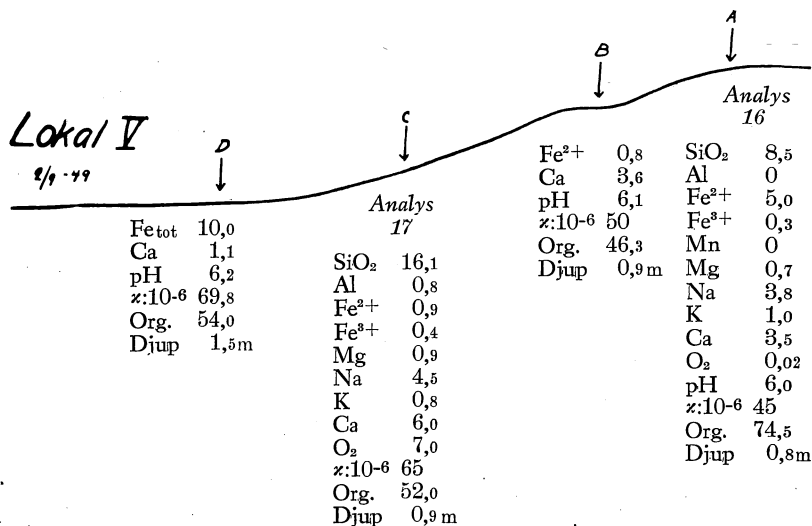


Fig. 18. Analyser av rinnande grundvatten inom lokalgrupp V (mg/l).

Analyse von rinnendem Grundwasser der Lokalgruppe V.

på den osvallade moränen rinnande vattnet rör sig så snabbt att det knappast hinner uppnå jonbytesjämvikt med jordpartiklarna, vilket sålunda skulle resultera i ett bibehållande av ytvattnets egenskaper utefter en sluttning, oavsett om vattnet rinner i svallad morän, i grövre vattensediment eller på hållmark. Det vore då att förvänta, att man i en mineralogiskt rik jordart under motsvarande betingelser skulle erhålla ett rinnande grund- eller ytvatten, som ej heller i nämnvärd grad skulle påverkas i sin kemiska sammansättning trots det förmodade högre utbudet av lösliga ämnen. För att utröna dessa förhållanden utvaldes lokalgrupp V (fig. 18) på ett gabbroartat grönstensmassiv 3 km SSO om Knylbo. De kvartära avlagringarna äro här i stort sett överensstämmande med de som förekomma på sluttningarna av Fröbenbenningsbackarna. Sålunda äro de lösa avlagringarna tunna eller obefintliga högst uppe på höjden, medan man längre nedför sluttningen finner både osvallad och svallad morän, svallgrus, sand etc.

Lokalgrupp V

Lokal A: Gles tallskog (45–50-årig), ej särskilt växtkraftig, på höjden av ett gabbroartat grönstensmassiv (ofta dioritisk bergart med stora hornbländekristaller) med relativt tunna, kvartära avlagringar. Lokalen ligger i en helt obetydlig svacka. 0–45 cm grusigt-sandigt material. Förmodligen svallgrus eller hårt svallad morän. Därunder berghällen. Markprofilen utgöres av järnpodsol: Råhumus 3–5 cm och blekjord 2–3 cm mäktig. Rostjorden rödbrun.

Fältskikt: *Vaccinium Vitis-idaea* y, *Vaccinium Myrtillus* e–t, *Calluna vulgaris* e, *Calamagrostis arundinacea* e.

Bottenskikt: *Pleurozium Schreberi*, *Cetraria islandica* fläckvis r, fläckvis rikligt förekomma även *Cladonia silvatica* och *Cladonia alpestris*, *Dicranum* sp. e.

Lokal B: 60—70-årig granskog på en plan avsats. *Vaccinium Vitis-idaea* t, för övrigt *Hylocomium splendens* y, *Pleurozium Schreberi* r. Beståndet förekommer i huvudsak på nedsvallad sand, som här och var vilar på lerlager. Dessa leror förhindra ytvattnets nedträngande och inom dessa fläckar förekommer *Sphagnum* sp.

Lokal C: Lövlund med björk e, ask e, hassel e, ek e, rönn e, brakved e, på ytstenigt svallgrus 0—90 cm + djup. Mellan stenarna starkt mullhaltig sand. Markprofilen utgöres närmast av brunjord. Antydning till podsoler med svag blekjord finnes på enstaka fläckar. Området utgör ett 200—300 m² starkt sluttande bälte, utsträckt i nivåkurvans riktning. Omgivande bestånd utgöres av 60-årig barrblandskog med företrädesvis gran.

Fältskikt: *Vaccinium Myrtillus* e, *Vaccinium Vitis-idaea* fläckvis t, *Fragaria vesca* e, *Anemone Hepatica* s, *Oxalis acetosella* fläckvis s, *Rubus idaeus* e, *Dryopteris spinulosa* e, *Linnaea borealis* t, *Potentilla erecta* e, *Solidago Virgaurea* e, *Vicia silvatica* e, *Viola Riviniana* e, *Majanthemum bifolium* s, *Anemone nemorosa* e, *Geranium silvaticum* e, *Lathyrus tuberosus* e, *Trientalis europaea* e, *Geum rivale* e, *Deschampsia flexuosa* t, *Luzula pilosa* e.

Bottenskiikt: *Hylocomium splendens* r.

Lokal D: Björk (40—50 år) och gran (60—70 år) i blandbestånd. Hassel e, rönn e, brakved e. Spridda askar. Enstaka aspar. Finmo med mjälaskikt 0—140 cm+. Området ligger längst ned på sluttningen, där en stor platå bildats av isälvsmaterial.

Fältskikt: *Rubus idaeus* e, *Vaccinium Vitis-idaea* e, *Vaccinium Myrtillus* e, *Solidago Virgaurea* e, *Fragaria vesca* e, *Majanthemum bifolium* e, *Tussilago farfara* e, *Carex vaginata* e, *Carex fusea* e.

Markprofilen är vackert utbildad brunjord.

Som synes av figur 18 är det provtagna vattnet utefter sluttningen betydligt elektrolytrikare än motsvarande vatten (fig. 17) inom Fröbenbenningsbestånden. Sålunda förekommer inga större skillnader i katjonhalter mellan yt- och grundvattnet inom denna lokalgrupp. De mineralogiskt rikare jordarterna inom grönstenslokalerna påverka emellertid allmänt grundvattnets näringshalt i en betydligt större omfattning än vad som gällde för lokalgruppen IV. Något annat resultat var ej heller att vänta (jfr exempelvis TROEDSSON 1952).

Förf. har inom lokalgrupp V betraktat grundvattnet i lokal A såsom ytvatten i förhållande till motsvarande vatten inom lokal C. Förvisso äro skillnaderna ännu större mellan ytvattnets och grundvattnets ledningsförmågor än vad som framgår av fig. 18, alldenstund lokalen A utgör en mindre svacka, där man ev. kan tänka sig en anrikning av joner till följd av avdunstning. Skillnaden i syrehalt mellan de båda lokalerna (A och C) visar ju också på ett betydligt mera stillastående vatten inom A. Inom denna lokalgrupp (V) förligga emellertid endast ofullständiga analysvärden från de mellanliggande lokalerna (B och D). Analyserna synas dock visa en tämligen god övergång i sammansättningen hos vattnet, vilket innebär att man erhåller ett något katjonrikare vatten ju längre ner för sluttningen man kommer. Detta avviker från förhållandena i Fröbenbenningsbestånden. Olikheter få förklaras med att leror och dyl. uppträda i lagerserien inom lokal B och D. Där finkorniga vattensediment förekomma inom huvudområdet för undersökningarna i Bjurfors bli förhållandena analoga, se nedan.

Anmärkas bör att svallgruset inom lokal C, lokalgrupp V, vid ett antal blockräkningar framvisade 11—12 % grönstenshalt, medan motsvarande värde för lokalgrupp IV (även där lokal C) utgjordes av 9—10 %. Skillnaderna äro mycket små och antagligen icke statistiskt

säkerställda mellan de båda lokalgruppernas grönstensfrekvenser. Även om den mineralogiska miljön i många fall kan synas ha direkt inflytande på grundvattnets katjonhalt får man dock inom lokalgruppen V också tänka sig en indirekt verkan. Brunjordstillståndet inom lokal C torde nämligen vara betingat av att växternas rötter förmå att direkt angripa markmineralen, och de därvid upptagna relativt stora mängderna av växtnäringsämnen ge upphov till en näringsrik förna, som i sin tur ger ökat katjontillskott till grundvattnet.

Om lokalgrupp V visar en tydlig inverkan av jordarternas mineralogiska egenskaper på grundvattnets kemiska sammansättning måste man antaga att den mineralogiska faktorn även inverkar på grundvattnets katjonhalt inom lokalgrupp IV. Denna framvisar ur mineralogisk synpunkt snarast normala jordarter, skillnaderna voro ej heller stora mellan yt- och grundvattnet. Att skillnaderna icke bli stora torde förklaras av att det infiltrerande ytvattnet, som sedermera bildar grundvatten, i dessa sluttningar huvudsakligen följer bestämda dränagevägar.

Detta antagande är icke nöjaktigt styrkt i och med dessa försök. Det torde vara nödvändigt att i detalj följa det rinnande grundvattnets väg utefter sluttningarna ifråga. Hittills anförda analysvärden ha emellertid visat att dränagevägarna för det rinnande grundvattnet med stor sannolikhet följa berggrunden, den osvallade moränen och även andra finkorniga jordarter. Samtidigt visar en jämförelse mellan samtliga analyserade vattens ledningsförmågor att skillnaderna i elektrolythalt äro förhållandevis små trots skillnader i årstid, markprofil och geologiskt underlag. Högsta ledningsförmågan äger analys 270, lokalgrupp VII ($= 132 \cdot 10^{-6}$) medan de lägsta värdena återfinnas i analyserna 158 och 159 i lokalgrupp IX ($= 21 \cdot 10^{-6}$). Dessa skillnader kunna anses stora, men större delen av samtliga κ -värden ligger omkring $30-50 \cdot 10^{-6}$. Som jämförelse till dessa grundvattenvärden må några typiska ytvattenanalyser lämnas i tab. 4.

Tabell 4. κ -värden för några typiska ytvatten inom Bjurfors kronopark

κ -Werte einiger typischer Oberflächenwasser im Staatsforst Bjurfors.

Lokal a $= 22 \cdot 10^{-6}$

b $= 40 \cdot 10^{-6}$

c $= 97 \cdot 10^{-6}$

d $= 27 \cdot 10^{-6}$

Lokal a. Prov togs i ett mindre grustag, invid myrsjövägen 800 m SSO Bjurfors herrgård, nedanför en höjdplatå. Grusmaterialet är svallgrus från ifrågavarande höjd.

Lokal b. Rinnande bäckvatten 40 m norr om nordligaste gården i Myrsjö.

Lokal c. Vattensamling å tvåårsvall invid Myrsjö gård.

Lokal d. En svacka på höjden av »Grevens berg». Grovkornig pegmatit. De kvartära avlagringarna blott c:a 10 cm mäktiga. Till följd av de häftiga regnen stod grundvattennivån c:a 5 cm ovan markytan. (Vegetationen utgjordes här av lingon r, blåbär e, renlav e, ljung e, *Pleurozium Schreberi* r). För övrigt en gles, tämligen kort tallskog.

Som synes av tabellen äro variationerna i elektrolythalt stora. Värdet i lokal c är den högsta ledningsförmåga hos ett ytvatten som erhållits inom Bjurforsområdet och får helt hänföras till inflytande från odlad jord. Inom lokal a är ytvattnet delvis sekundärt. Dvs. grundvattnet har här passerat stora svallgruslager innan det samlats i öppna vattensamlingar längst ned och där blandats med ytvatten. Trots detta är ledningsförmågan mycket låg. Lika förvånansvärt är den låga jonkoncentrationen i lokal d. Här föreligger en »förhållandevis frisk» marktyp, som trots ett hårt utglesat bestånd ej övergått till extremt lavbunden mark och som under hela juli månad 1949 endast en gång fått en nederbörd över 0,5 mm (2,9 mm 13/7) före en stor nederbörd i slutet av nämnda månad. Det rinnande bäckvattnet har en förhållandevis hög ledningsförmåga.

Om grundvattnet följer de ovan angivna dränagevägar-
na (dvs berggrunden, den osvallade moränen och andra finkorniga jordarter), så är det rimligt att yt- och grundvattnet i dessa sluttningar får en likartad kemisk sammansättning. Förf. har hela tiden hållit sig till det ytvatten som infiltrerar utefter hällarna och icke det ytvatten som bildar sjunkvatten och sedan på bred front når grundvattnet. Detta senare ytvatten förekommer givetvis, men att fånga upp det såsom sjunkvatten är mycket svårt och dessutom har inom exempelvis lokalgruppen VII påvisats att det ovanifrån markytan kommande sjunkvattnet icke synes påverka jonkoncentrationerna i dessa sluttningars grundvatten. Till följd av de stora infiltrationsområdena som mata grundvattnet ovan Fröbenbenningsbackarna är det helt naturligt att det silande grundvattnets kemiska egenskaper icke nämnvärt kunna förändras genom tillskott av helt små sjunkvattenmängder, även om dessa såsom lösningar äro mera koncentrerade. Vi kunna därför tillsvidare underlåta att redogöra för sjunkvattnets egenskaper i dessa sluttningar och i stället närmare granska grundvattnets sidorörelser. Inom samtliga lokalgrupper (I—IX) har det — mer eller mindre påtagligt — kunnat visas att starkt strömmande grundvatten i sluttningar kan lokaliseras till vissa bestämda vattenvägar, som äro betingade av jordarternas mekaniska sammansättning.

För att närmare studera problemen har förf. försökt att i grävda gropar följa vattnets rörelser och förmedelst analyser konstatera dess kemiska sammansättning inom olika horisonter av markprofilen. De undersökta lokalerna ha varit belägna dels inom Fröbenbenningsbestånden, dels utefter Skumpabergets nordsluttningar och dels inom Dammsjöbestånden. Studierna ha även utsträckts att omfatta områden med mäktigare moräner och svallgrusområden på Garpenbergs Kronopark och inom några smärre skogsområden vid Dormsjöns (8 km N Garpenberg) östsida, i Söfringsbo.

Infiltration i marken är starkt (se vidare kap. VI) beroende av dels humushalten, dels blockhalten och dels rotzonens djup. Utan full förståelse för dessa faktorerers inverkan är det omöjligt att få grepp om grundvattnets rörelser i sluttningar.

I varje sluttning lades undersökningar upp sålunda att en serie av 5—8 gropar grävdes ungefär på en och samma nivåkurva. Groparna lågo som närmast 1 m ifrån varand-

Tabell 5. Den kemiska sammansättningen av det ytvatten, som rinner ovanpå humustäcket mg/l).

Die chemische Zusammensetzung des Oberflächenwassers, das die Humuslager überrieselt.

Fröbenben- ningen. Sluttning 1:3 12/8 1949.	Grop	Fe ³⁺	Na	K	Ca	κ _{20° C}	pH	O ₂	
	1	1,0	10,2	0,2	1,1	32 · 10 ⁻⁶	6,0	2,4	
	6	0,1	8,9	0,2	1,3	28 · 10 ⁻⁶	6,1	2,9	
	11	0,0	11,3	0,3	2,5	30 · 10 ⁻⁶	5,8	3,1	
	18	0,1	4,7	0,6	2,1	40 · 10 ⁻⁶	6,2	2,2	
Skumpaberget Sluttning 1:3 20/7 1952.	Grop	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Na	K	Ca	κ _{20° C}	pH	O ₂
	9	5,0	0,3	8,1	0,6	1,8	37 · 10 ⁻⁶	5,9	0,1

ra och det längsta avståndet var ända upp till 15 meter. Dylåka gropserier upprepades ner för sluttningen 3—4 gånger. Synnerligen viktigt var att groparna på en och samma nivåkurva voro grävda i ett och samma jordmaterial. Deras djup var olika; önskemålet var att den djupaste skulle nå berggrunden, vilket dock endast lyckades i några enstaka fall i den översta serien. I den grop, som hade det minsta djupet, var blott förnatäcket avskalat. Sedan utfördes grävningar så att varje »lager», antingen det utgjorde en definierad jordmånshorisont eller en enbart osvallad morän kom att blottas i sin översta del. Groparna företedde en så att säga trappstegsvis grävning ner till berggrunden där varje steg utgjordes av resp. ett humuslager, ett rostjordslager, ett ytstenigt lager, ett sandlager osv. Över varje grop lades en masonitskiva, som mer än väl täckte gropen, så att intet regnvatten kunde nedrinna i denna. Efter varje regn studerades vattenrörelserna. Dessa regn behövde ej vara rikliga, 10—20 mm räckte väl till, om ovanför liggande infiltrationsområde var tillräckligt stort. En nackdel med dessa gropar var att man blott kunde studera vattenrörelserna en à två gånger, enär de snabbt vattenfylldes, varvid gropen slammades igen i botten. Om gropen låg täckt en längre tid uppstod därtill svampbildning m. m., som förstörde de frampreparerade lagren och omöjliggjorde kemiska analyser av det framsipprande vattnet. Å andra sidan var det ej heller lämpligt att ha groparna obetäckta. Mer än en serie av gropar grävdes aldrig samtidigt. Oftast var det fullt tillräckligt med fem gropar, samtidigt grävda. Det vatten som erhöles på olika nivåer i groparna analyserades delvis redan i fält. Sålunda utfördes praktiskt taget omedelbart efter provtagningen syreanalyser, klorbestämningar och bestämningar av två- och trevärt järn samt pH. På laboratoriet gjordes bestämningar av natrium, kalium, kalcium samt i en del fall även aluminium.

I sluttningar med mycket grovt material såsom Fröbenbenningen och Skumpaberget rann en del ytvatten direkt ovan humustäcket sedan vegetationens botten-skikt tagits bort. Denna ytliga vattenrörelse var skönjbar i sluttningar med lutningen 1:3.

Blev sluttningens lutning blott 1:6,5 kunde den ej iakttagas. Sammansättningen av det vatten som silade ovanpå humuslagret illustreras av tab. 5.

Vattenrörelser i det ytliga humuslagret (eller snarast i vegetationens botten-skikt) måste studeras vid speciellt gynnsamma nederbördsförhållanden. 10—20 mm nederbörd voro i detta fall icke tillräckliga, även om infiltrationsområdet var stort. Lutningsförhållandena måste vara som ovan angivits och först efter tämligen häftiga regn, som uppgingo till 40 à 50 mm, kunde något vatten alls erhållas i den ifrågavarande horisonten. En väsentlig förutsättning för att en sådan här ytavrinning skall kunna ske, är att humustäcket är vattenmättat och icke alltför mäktigt. Först efter mycket sökande och omfattande grävningsförsök påträffades några lämpliga lokaler, varför man kan antaga att en ytavrinning av detta slag icke är alltför vanlig. Svårigheterna med att insamla tillräckliga mängder vatten tyda också på att vattenrörelsen ifråga icke är av alltför stor omfattning. — Analyserna framvisa anmärkningsvärt höga syrehalter, men äga för övrigt en katjonhalt som närmast motsvarar tidigare anförda grundvattenanalyser från samma sluttningar.

En mera omfattande vattenrörelse sker emellertid i det ytsteniga lagret som ligger direkt ovan den hårt packade bottenmoränen (dvs. den osvallade moränen). Är ystetnigheten stor sker infiltrationen mycket snabbt, varvid även förhållandevis små nederbördsmängder (10—20 mm) förmå att bilda »ett silande grundvatten». I den osvallade moränen är ofta en tunn rostjord utbildad, som snabbt övergår i en C-horisont. Sammansättningen av vattnet i ytsteniga lager se tab. 6.

Tabell 6. *Analyser av grundvatten, som silar i det ytsteniga lagret på den osvallade moränen¹⁾ i sluttningar under högsta kustlinjen (mg/l).*

Analysen von Grundwasser, das in dem kiesigen, von Wellen bearbeiteten Lager auf der unausgewaschenen Moräne im Hang unter der höchsten Küstenlinie rieselt.

	Grop	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Na	K	Ca	Al	O ₂	pH	$\kappa_{20^{\circ}\text{C}}$	Djup
Fröbenbenningen	2	0	0,2	8,0	0,5	1,1	0,3	3,4	6,0	$32 \cdot 10^{-6}$	0,2
	3	0,2	0,4	3,1	0,4	1,8	0,8	2,8	6,1	$39 \cdot 10^{-6}$	0,5
	8	0	0,1	5,2	0,4	1,2	0	4,2	6,5	$29 \cdot 10^{-6}$	0,9
Skumpa-berget	3	0	0,8	6,8	0,4	1,3	0,4	2,1	6,4	$32 \cdot 10^{-6}$	1,0
	4	0,2	0,7	9,2	0,4	2,1	0,6	4,5	6,4	$40 \cdot 10^{-6}$	0,8
	12	0	0	4,8	0,3	2,0	0	2,8	5,9	$38 \cdot 10^{-6}$	1,2
	16	0	0	5,3	0,3	1,1	0	3,1	6,3	$30 \cdot 10^{-6}$	0,2
Garpen-berg	3	0	0	12,1	0,4	3,2	4,5	0,8	6,8	$38 \cdot 10^{-6}$	0,8
	4	0	0	8,9	0,7	2,1	0,8	1,2	6,2	$30 \cdot 10^{-6}$	0,2
	9	0	0,2	10,1	0,6	2,0	—	2,3	6,3	$29 \cdot 10^{-6}$	0,4
	10	0	0,3	4,3	0,5	1,2	0	0,9	6,4	$30 \cdot 10^{-6}$	0,9

¹⁾ Se mekanisk analys nr 12 tab. 50.

Samtliga analyser i tab. 6 vittna om tydliga ytvattenegenskaper hos vatt-
net. Dels är K^+ -halten låg och Al^{3+} -halten vanligen hög. Syrehalten är hög trots den
höga Fe^{2+} -halten. Ledningsförmågan är fullt likvärdig med grundvattnets ledningsför-
måga (se kap. IV: 4: a). Frapperande är den höga Al^{3+} -halten i grop 3 från Garpenberg.

I detta sammanhang må redogöras för provtagningsmetodik vid vattenprovns insam-
ling. För detta ändamål användes en tunn fyrkantig celluloidskiva, vilken ytterligare till-
spetsats i ena änden. Med rits gjordes ett antal rännor (helt ytliga) som det rinnande vatt-
net tvingades in uti:

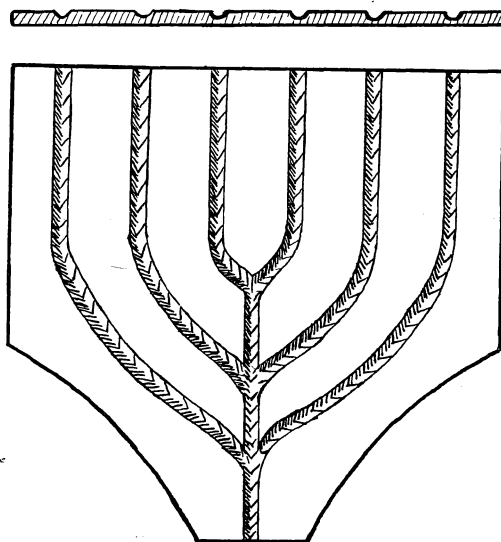


Fig. 19. Uppsamlingskiva för ytvatten.

Scheibe zum Auffangen von Oberflächenwasser.

Vattnet gick här utomordentligt väl att insamla och i möjligaste mån undveks att förstöra
rostjorden, som i de flesta fall bildar en tämligen hård, brunröd skorpa överst i den osvallade
moränen. Förf. vill dock ej använda begreppet skenhälla då skorpan var mycket tunn.
Vid uppsamlandet av vattnet fanns stora risker för att få med material från denna rostjord.
Försök gjordes att använda filterpapper för att få en tätare övergång till den slipade cel-
luloiden, vilket stundom lyckades men stundom gjorde att vattnet rann utmed undersidan
av skivan. Den höga aluminiumhalten samt den av aluminium tydliga oberoende Fe-halten
bero sannolikt på att rostjords-»kakan» blivit störd. Betydligt högre aluminiumhalt erhö-
ll O. TAMM (1931) i ett grundvatten från Rokliden.

I hårt svallade sluttningar, där svallgruset fläckvis är 1 meter mäktigt och har en
del av den ursprungliga moränens finpartiklar inblandade i sina djupare skikt, sker
uppenbarligen en stor del av grundvattensilningen. Under svallgruset ligger
den orörda moränen bildande ett nästan ogenomträngligt golv
för såväl rötter som nedsipprande vatten. Det var tyvärr prak-
tiskt taget omöjligt att med de resurser som stod förf. till buds försöka mäta de
kvantiteter av grundvatten som passerade i lagret närmast ovanför detta golv.

I två enstaka fall placerades vattenståndsror (av den typ som är beskriven i kap. I: 2) för att undersöka hur tät den osvallade sandig-moiga moränen kunde tänkas vara. Tvenne vattenståndsror placerades i grävda, meterdjupa gropar (ca 1 m i diameter) i en tämligen brant sluttning. Närmast röret lades svallgruset tillbaka och gropens »svallgrus-väggar» kläddes med sandig-moig osvallad morän i en halvcirkel (ungefärlig), så placerad att det utmed sluttningen silande vattnet nådde vattenståndsroret genom svallgrus, men sedan stoppades upp av den nedanför liggande moränväggen. Det visade sig vid de observationer som gjordes, att vid 10 mm nederbörd kunde vattenståndet stiga 50—60 cm i röret. Dessa höjningar vittna om att ett tämligen stort infiltrationsområdes vatten breder ut sig på detta lager av osvallad morän. Den vattenyta som bildas i det grova materialet ovanpå den osvallade moränen, och som således ger upphov till en hög grundvattenyta, kan icke vara förorsakad av det från markytan kommande sjunkvattnet.

Inom Fröbenbenningsbestånden voro de kvartära avlagringarna ofta ej mer än 1,5—2 m mäktiga, men däremot tämligen omväxlande. Under svallgruset förekom stundom sand, även grovmo men nästan aldrig lera i någon större utsträckning. Vid Skumpaberget påträffades emellertid smärre lerlinser. Utom på den osvallade moränen var det emellertid icke lätt att samla upp rinnande grundvatten. Leran bildade i de sluttningar förf. studerat aldrig så sammanhängande skikt att större vattenmängder kunde framflyta ovanpå dem och därvid göras till föremål för provtagning.

Intressant är att i grop nr 11 vid Skumpaberget visade sig ett lertager ha en tjocklek av 2 cm och vara över- och underlagrat av grovmo samt ha en längdutsträckning av blott 2,2 meter och en bredd av knappt 1 meter. Vid ett enkelt anordnat lysimeterförsök kom i n e t t vatten framrinnande utefter detta svagt sluttande lerplan. Förmodligen försiggick en dräning genom rötter och sprickor, vilka faktiskt ej kunde direkt iakttagas vid frampreparingen av lagret.

Ju yligare det vattenförande lagret ligger, desto större betydelse har det för trädens näringsförsörjning. I regel är syrehalten hög och näringshalten (av analyserna att döma) tämligen konstant. Vi ha också i sluttningar av här beskrivna typer våra kanske allra vackraste tallbestånd såsom ovan framhållits.

Ytterligare en zon, där grundvattnet silar fram, finns även under den osvallade moränen, dvs. närmast berghällen. Nu förhåller det sig emellertid så, att inom Garpenbergsområdet såväl som Bjurforsområdet (inom det senare Skumpaberget och Fröbenbenningsbackarna) äro sluttningarna tämligen hårt svallade. I de fall där man har osvallad morän i botten, är densamma vanligen mycket hårt packad. Följden är att grundvattnet söker sig förbi den osvallade moränen, och då densamma är täckt av svallgrus föredrar grundvattnet naturligt nog att framrinna i detta. Grundvattenströmningen mellan moränen och berghällen är i dessa fall minimal. Givetvis existerar denna »grundvattenväg», men vattnet silar ytterst långsamt fram, och kvantitativt sett spelar den säkerligen blott en liten roll för totalavrinningen från dessa sluttningar. Rötterna tränga ytterst sällan ned i denna botten-

morän utan begagna sig i stället av den betydande porvolymen i det ovan moränen liggande grövre materialet. Den osvallade moränen kan givetvis bestå av en hårt packad bottenmorän med tydlig pressstruktur. I sådan bottenmorän har förf. aldrig påträffat några synliga smårötter. (Se vidare kap. VI:4). Mellan moränen och berghäl- len, dvs närmast hällen, var det icke möjligt att samla upp vattnet lika hastigt som i de båda föregående horisonterna. Analyserna gävo följande resultat:

Tabell 7. *Analys av det grundvatten, som rinner utefter berghällar under osvallad morän¹⁾ (mg/l).*

Analysen von Grundwasser, das entlang glatten von Gletschereis geschliffenen Felsoberflächen, unter der unausgewaschenen Moräne rinnt.

	Grop	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Na	K	Ca	Al	O ₂	pH	$\kappa_{20^{\circ}\text{C}}$
Fröbenben- ningen (röd, kvarts- rik urgranit)	5	0	0,1	3,2	0,5	2,1	0	0,8	6,3	$30 \cdot 10^{-6}$
	9	0	0,1	2,4	0,6	1,8	0	0,2	6,2	$29 \cdot 10^{-6}$
	17	0	0,2	2,8	0,5	1,3	0	0,3	6,4	$27 \cdot 10^{-6}$
Skumpaberget (leptitgnejs)	8	0	0,2	2,2	0,5	2,4	0	0,4	6,0	$32 \cdot 10^{-6}$
	15	0	0,1	2,3	0,4	2,0	0	0,1	6,1	$32 \cdot 10^{-6}$
Garpenberg (röd, kvarts- rik urgranit)	5	—	—	2,2	0,7	1,9	0	0,3	6,9	$33 \cdot 10^{-6}$
	8	—	—	3,2	0,5	1,9	0,1	0,2	6,2	$31 \cdot 10^{-6}$
	11	—	—	4,4	0,6	1,7	0	0,8	6,1	$32 \cdot 10^{-6}$
Söfringsbo (intermediär urgranit)	3	—	—	3,1	0,4	1,1	0	0,4	6,0	$31 \cdot 10^{-6}$

Avvikelserna äro små i jämförelse med tabell 6. De låga syrevärdena vittna om en långsammare vattenrörelse och trots detta äro Fe²⁺ -halterna låga. Järnet måste därför anses ha fastlagts på ett tidigare stadium i vatteninmatningen, vilket också aluminiumhalten synes bekräfta. Natriumhalterna äro låga. Kalciumhalterna äro mycket lika de i närmast ovanför liggande grundvattenhorisont förekommande, medan kaliumhalterna snarast äro för höga för »normalt» grundvatten.

Analyserna visa i stora drag att det grundvatten som rinner mellan hällytan och moränen är synnerligen likt det i tabell 5 analyserade grundvattnet.

Betr. tabell 7 må anmärkas att det tog upptill 12 dygn att erhålla de 50 ml vatten, som erfordrades för analyserna. Risker för smärre otillförlitligheter i dessa äro helt naturligt ofrånkomliga. Täckning av uppsamlingsskiva, provflaska etc. skedde med plastduk.

Ovanstående iakttagelser rörande grundvattnets »horisontella» rörelser eller m. a. o. dess rörelser med hänsyn till lagerserien har kontrollerats genom studier över Cl⁻jonens rörelse i markprofilen. Sedan förf. kommit underfund med de tre vägar som

¹⁾ Mekanisk analys nr 5 tab. 50.

grundvattnet i huvudsak använder i normal skogsmark inom terränger, sådana som de undersökta, infördes mättade NaCl-lösningar (5 kg NaCl) i mässingsrör, som med sin nedre ände nådde de olika grundvattenförande lagren. Det gick tämligen lätt att i sluttningen ovanför groparna slå ned mässingsrören till lagren ifråga (c:a 2 à 3 meter från resp. gropar) och i dessa hålla natriumkloridlösningen, som efter 1 à 2 timmar, ibland betydligt kortare tid, kunde spåras i motsvarande lager i gropen. Endast genom mätningar av elektriska ledningsmotståndet i grundvattnet kunde Cl-jonen påvisas, enär analys med hjälp av silvernitrat gav alltför otydliga resultat. I humuslagret var det omöjligt att tillföra natriumkloridlösningen på ett oantastligt sätt, däremot lyckades det relativt bra, när röret nedförts i den osvallade moränen ända ned till berghällan. Vattenhastigheten i denna senare horisont med en lutning på 1:6 var högst 0,5 meter i veckan. Hastigheten i svallgruset på den osvallade moränen var i en sluttnings på 1:6, när den var som långsammast, 0,5 meter i timmen. I en sluttnings på 1:3 inom Fröbenbenningsbacken erhöles en hastighet av 4—5 meter i timmen.

Dessa hastigheter i vattenrörelserna pekar mot att den väsentliga avrinningen i moränsluttningar, som bearbetats av det seneglaciala havet, sker ovanpå den osvallade moränen. Speciella fall må gälla för övriga jordartstyper, men av stort intresse är att den osvallade moränen, när den är av normal sandig-moig typ,¹⁾ bildar ett så gott som ogenomträngligt golv för avrinningen. En naturlig slutsats vore då att i sluttningar ovan högsta kustlinjen, där moränerna nästan alltid äro osvallade, borde en stor del av nederbörden avrinna närmast under humusskiktet. I svallade sluttningar borde man kunna förvänta en vittringshorisont, orsakad av det silande vattnet ovan den osvallade moränen. Vi skola icke här närmare gå in på dessa frågor, utan istället hänvisa till kapitel VI, där bl. a. resultaten av vittringsundersökningar från Bjurfors och Söfringsbo och även andra platser skola lämnas.

Resultaten från undersökningarna av vattnets kemiska sammansättning i sluttningar med rinnande grundvatten kunna sammanfattas i följande punkter:

1. I grundvattnet äro aluminiumhalterna låga och kaliumhalterna proportionsvis höga. För ytvattnet äro förhållandena omvända. Med kännedom om alla dessa halter är det möjligt att bestämma om ett framsipprande vatten är av ytvatten- eller grundvattenkaraktär. Vid transport i det i lutningsriktningen framrinnande grundvattnet fastlägges aluminium tämligen hastigt. Detta gäller även för det organiska materialet. Betr. kvävet synes det som om detsamma i grundvattnet efter en helt kort transportsträcka endast kan förekomma som nitratkväve, bortsett från en kvävehalt i små mängder i färglösa, relativt stabila humusämnen.
2. Inom vissa lokaler med 1—2 m mäktiga kvartära avlagringar har det varit möjligt att i sluttningar med rinnande grundvatten följa olika joners successiva fastläggning. Denna fastläggning synes ej bliva störd eller påverkad av det sjunkvatten, som på bred front perkolerar rakt nedåt genom marken.

¹⁾ Mekanisk analys nr 22 tab. 50.

3. Fastläggningen av joner som förekomma i det rinnande grundvattnet i sluttningar framgår tydligt av ledningsförmågens avtagande med längden av transportsträckan. Så snart sumpmarker uppnås — vilket ofta är fallet nedanför sluttningar i den kuperade bergslagsterrängen — stiger ledningsförmågan i grundvattnet omedelbart.
4. Blåsippa, som i Bergslagens barrskogar måste anses som en kalkindicerande växt, förekommer ofta inom lokaler med rinnande grundvatten. Såväl jordarten som vattnet kunna vara tämligen kalkfattiga trots den kalkälskande floran. Näringsbehovet för denna torde emellertid lätt kunna tillfredsställas genom att det totala utbudet av näringsämnen blir stort genom ständig tillförsel tack vare det rinnande grundvattnet.
5. Grundvattnets jonkoncentrationer synes i stora drag vara oföränderliga trots växlingar av årstider, trots tjäle, regnperioder osv. Dock kan en viss utspädningseffekt erhållas vid hög nederbörd om infiltrationsområdet är stort och de lösa avlagringarna äro grova och genomsläppliga. Dessutom fordras det emellertid att sluttningen nedanför infiltrationsområdet äger en tillräcklig lutning.
6. Stundom förekommer det i sluttningar att grundvattnet i en frisk, alldeles oförsumpad mark har katjonkoncentrationer, som närmast motsvarar de sumpiga jordmånernas grundvatten. Det omvända förhållandet är också vanligt (se sid. 49).
7. Grundvattnet framrinner ej endast utmed hållar utan även på osvallade sandigmoiga moräner, vilka synas bilda en utmärkt botten för vattnet att rinna på. Svallningen av moränerna i sluttningarna kan nå olika djup, vilket medför att nederbördens nedträngande i marken upphör kanske redan på ett tiotal cm:s djup, om den osvallade moränen begynner vid denna nivå. En sådan ytlig avrinning av grundvattnet medför dock icke lägre katjonhalter i vattnet — vilket möjligen skulle kunna förväntas — utan ledningsförmågan är lika hög här som i ett grundvatten på 1 à 2 meters djup.
8. Närmast föregående resultat föranledde jämförande undersökningar för att utröna ytvattnets kemiska egenskaper i jämförelse med grundvattnets. Det har därvid kunnat påvisas att ytvattnet och grundvattnet i dessa sluttningar äro ur kemisk synpunkt likartade (dock kunna i många fall de båda vattenfraktionerna särskiljas med hjälp av de under nr 1 angivna metoderna) och vad beträffar ledningsförmågan i resp. vatten så är denna praktiskt taget lika.
9. Likheter mellan ytvattnets och grundvattnets jonkoncentrationer, sjunkvattnets oförmåga att påverka grundvattnets jonkoncentration, vegetationens stundom ringa samband med grundvattnets egenskaper, jonbytesjämvikten i rinnande grundvatten även i sluttningar med grovt material, den huvudsakliga avrinningen som i dessa

sluttningar sker ovanpå den osvallade moränen etc. peka alla med bestämdhet på att ytvattnet hastigt når grundvattnet och redan då har erhållit katjonhalter som i stort sett överensstämmer med grundvattnets.

4. Grundvattnets kemiska egenskaper inom plana områden

a. Bjurforsområdet

I det föregående har påvisats att stora överensstämmelser finnas mellan den kemiska sammansättningen av yt- och grundvatten i sluttningar med icke alltför mäktiga kvartära avlagringar. Det vore av intresse att veta om dessa rön äro giltiga även inom plana områden, där grundvattenrörelserna i sidled äro långsamma och där all tillförsel av ytvatten till grundvattnet måste ske från ovanliggande markyta. Men för att kunna göra dylika jämförande studier mellan ytvattnets och grundvattnets kemiska egenskaper är det nödvändigt att äga en ingående kännedom om de förändringar som ske i grundvattnets jonkoncentrationer icke blott under vegetationsperioden utan under året i sin helhet. Ett försöksområde för dylika undersökningar borde lämpligen bestå av ett flackt moränområde, där all sidoinfiltration till grundvattnet kan anses vara ingen eller mycket liten.

Inom Bjurforsområdet var det icke lätt att leta upp ett härför lämpligt moränområde. Förutom att jordarten helst skulle vara osvallad sandig-moig morän med normal blockhalt i ytan, borde lokalen ligga så högt att något sidoinfiltrerande vatten icke kunde påverka grundvattenförrådets jonkoncentrationer. Det gällde nämligen att få ett område där grundvattnet endast kunde tänkas bli »påfyllt» rakt uppifrån genom den direkta nederbörden. Block- och stenhalt fick ej vara för hög, då infiltrationen genom humustäcket i så fall kunde tänkas bli alltför snabb, och framför allt fick hållar ej sticka upp genom moräntäcket utan borde ligga ganska djupt. Dessutom borde skogstypen vara normal för undersökningsområdet. Alla dessa krav gick vanligen ej att realisera på en gång, men ett nära nog idealiskt område erhöles c:a 600 m ONO Bjurfors herrgård. Moränen är så pass mäktig att den högst belägna hälletan ligger på 0.9 meters djup under markytan och hela provytan ligger ganska högt med en så att säga »egen» grundvattenyta, vilket bekräftats genom grävningar och borrhningar. En fördel med området är att det ligger nära landsväg och observationer därför lätt kunnat genomföras.

Skogstypen är en mossrik typ med ymnig förekomst av *Hylocomium splendens* och *Pleurozium Schreberi* med enstaka blåbärsris och även strödd *Deschampsia flexuosa*. Tallskogen är 60—70-årig och mycket växtlig. Markprofilen är järnpodsol med 4—5 cm mäktig råhumus, 2—3 cm blekjord. På 60 cm djup ligger den till synes av jordmånadsprocesserna opåverkade C-horisonten. (Analys nr 26 tab. 50.)

Samtliga analyser från denna lokal (lokal XI) återfinnas i tabell 8.

Tabell 8. Grundvattenanalyser från lokalgrupp XI inom Bjurfors (mg/l).
Grundwasseranalysen der Lokalgruppe XI in Bjurfors.

	28/8 1949 A 18	1/9 1949 A 34	7/11 1949 A 42	20/12 1949 A 48	25/1 1950 A 49	9/2 1950 A 89	10/3 1950 A 90	20/11 1950 A 91	8/12 1950 A 118	25/1 1951 A 119	17/2 1951 A 133	18/3 1951 A 135	20/7 1951 A 136	21/8 1951 A 137	12/9 1951 A 138	15/12 1951 A 148
SiO ₂	19,5	12,8	10,2	13,0	14,0	15,3	10,0	14,8	15,3	16,8	17,4	10,3	12,5	13,3	9,8	10,5
Al	—	—	0,1	0,01	0,03	—	—	—	0,01	0,02	—	—	—	0,02	0,2	0,1
Fe _{tot}	0	0,3	0	0	0,1	0,2	—	0,2	0,3	0	0,4	0,2	0,4	0,2	0	0
Mn	0	0	0	—	—	—	0,1	0,1	—	—	—	—	—	0	0	0
K	0,3	0,1	0,2	0,1	0,4	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2
Mg	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	1,3	1,1	1,1	1,0	0,9	0,7	1,1	1,3	1,1	1,0	0,9
Na	2,7	2,4	2,8	3,1	2,0	2,4	3,5	3,6	3,4	3,0	3,1	2,4	2,5	2,0	2,1	—
Ca	2,2	3,1	2,7	2,9	2,1	2,9	2,1	2,0	2,8	3,4	3,8	2,5	5,0	3,1	2,9	4,3
O ₂	0,6	0,1	0,7	0,8	0,3	0,1	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,3	0,1	0,2	0,5	0,4
pH	6,4	6,8	6,5	6,7	6,8	6,2	6,2	6,5	6,4	6,6	6,7	6,9	6,9	6,3	6,5	6,6
$\kappa : 10^{-6}$	31	32	31	30	32	33	30	30	31	32	32	30	34	33	32	32

	20/1 1952 A 178	15/3 1952 A 180	17/4 1952 A 201	10/5 1952 A 210	12/6 1952 A 217	8/7 1952 A 225	3/8 1952 A 226	20/10 1952 A 245	15/11 1952 A 280	12/12 1952 A 283	15/2 1953 A 304	7/3 1953 A 335	12/4 1953 A 336	14/5 1953 A 337	18/6 1953 A 338	20/8 1953 A 339	10/9 1953 A 340
SiO ₂	10,8	5,4	5,9	12,2	12,0	14,4	10,9	12,8	9,7	9,8	—	—	14,5	15,8	10,2	10,8	14,4
Al	—	—	0,4	0	—	—	0,3	0	0,1	0	—	—	—	0,02	—	—	0,01
Fe _{tot}	0	0,3	0,2	0	0,1	0,3	0,4	0	0,1	0,2	0,1	0	0,2	—	0,2	0,1	0,3
Mn	0	0	0	0	—	—	—	0,1	0	0	0	0	—	0	—	—	—
Mg	1,3	1,1	1,2	1,4	1,4	1,4	1,6	1,0	0,8	0,7	1,1	1,2	0,8	0,9	1,3	1,1	1,6
K	0,3	0,3	0,4	0,7	0,4	0,3	0,5	0,4	0,2	0,2	0,4	0,3	0,8	0,1	0,4	0,4	0,5
Na	2,1	3,3	3,4	2,5	2,8	2,9	2,0	1,8	11,3	8,2	2,4	3,5	3,6	2,4	8,5	9,8	2,0
Ca	2,9	3,1	2,8	4,6	4,5	4,2	5,0	2,0	2,0	2,1	3,1	2,0	1,8	2,7	2,9	3,4	4,1
O ₂	0,6	0,1	0,1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,5	0,3	0,2	0,3	0,5	0,2	0,4	0,1	0,2	—
pH	6,7	6,8	6,3	6,4	6,6	6,4	6,5	6,5	6,4	6,7	6,5	6,4	6,8	6,3	6,4	6,5	6,6
$\kappa : 10^{-6}$	33	32	31	32	32	34	36	30	30	29	32	30	28	32	33	32	34

Tabell 9. Medeltal för samtliga grundvattenanalyser från lokalgrupp XI (mg/l). Medeltalen äro beräknade för resp. årstider.

Das Mittel sämtlicher Grundwasseranalysen von Lokalgruppe XI, nach Jahreszeiten aufgeteilt.

	Medeltal $\sum \frac{1}{n}$ 28/8 -49- 10/9 -53	Summa analyser	Medeltal $\sum \frac{1}{n}$ april-maj 1950-1953	Antal analyser	Medeltal $\sum \frac{1}{n}$ juni-sept. 1949-1953	Antal analyser	Medeltal $\sum \frac{1}{n}$ okt.-dec. 1949-1953	Antal analyser	Medeltal $\sum \frac{1}{n}$ jan.-febr. 1950-1953	Antal analyser
SiO ₂	12,4	31	12,1	4	12,8	11	12,0	8	14,9	5
Al	0,08	16	0,1	3	0,13	4	0,04	7	0,03	2
Fe _{tot}	0,2	31	0,1	3	0,2	11	0,1	8	0,1	6
Mn	0,02	18	0	3	0	4	0,03	6	0,0	2
Mg	1,08	33	1,08	4	1,3	11	0,9	8	1,03	6
K	0,3	33	0,5	4	0,3	11	0,3	8	0,3	6
Na	3,6	32	3,0	4	3,6	11	4,3	7	2,6	6
Ca	3,0	33	3,0	4	3,7	11	2,6	8	3,0	6
O ₂	0,3	32	0,3	4	0,2	10	0,5	8	0,3	6
pH	6,5	33	6,5	4	6,5	11	6,5	8	6,6	6
κ	$32 \cdot 10^{-6}$	33	$31 \cdot 10^{-6}$	4	$33 \cdot 10^{-6}$	11	$30 \cdot 10^{-6}$	8	$32 \cdot 10^{-6}$	6

I ovanstående tabell 9 äro medeltalen uträknade för de 33 vattenproven från lokal XI.

Tabellen visar att medelvärde för ledningsförmågan är $32 \cdot 10^{-6}$ med variationsgränserna $28 \cdot 10^{-6}$ — $34 \cdot 10^{-6}$. Under sommaren och vintern är ledningsförmågan något högre än under vår och höst. Den genomsnittliga ledningsförmågan för mars är ej medtagen på grund av att denna månad stundom har och stundom icke har snötäcke. Medeltalen av analysvärdena för några joner visa relativt höga koncentrationer under sommaren. Dessa joner äro Mg⁺⁺ och Ca⁺⁺. Järn (det totala) samt aluminium ha sina högsta halter under sommaren. Kalium har ett maximum i april-maj, men sedan relativt jämna värden. Jämnheten i de låga K⁺-värdena vittnar om att det råder en viss jonbytesjämvikt mellan mineralpartiklarna och vattnet. Det höga genomsnittsvärdet av K⁺ = 0,5 härrör endast från fyra analyser och är därför möjligen icke representativt. Det i grundvattnet lösta syret visar delvis en korrelation med årstiden. Under höstmånaderna är syrehalten som högst och under sommartid lägst; det sistnämnda beror dels på en långsammare vattenrörelse i marken under sommaren och dels på den relativt stora syreförbrukningen under denna årstid. Vid inställd syreförbrukning stiger halten något som exempelvis under januari och februari. Aluminium förekommer rikligast under våren och sommaren men sedan desto sparsammare.

Slutresultatet av detta drygt 4-åriga försök framstår tydligt i de synnerligen jämna värdena i tab. 8 och 9. Jonbytesjämvikten i den sandig-moiga, osvallade moränen är av allt att döma tämligen stabil.

Förvånansvärt är att halterna av de olika katjonerna icke äro större i grundvattnet, vilket vore att vänta, då vattenrörelserna böra vara små i hårt packad morän (jfr kap. V:7). Tilläggas bör att uppsugandet av vattenprover om 300 ml har under sommartid tagit c:a 2 timmar. Under vintertid med stundom ända till 15 minusgrader har sådan provtagning varit synnerligen besvärlig. Praktiskt taget vartenda prov under januari—februari och ibland även i mars har sugits upp under användande av blåslampa. Provtagningarna för dessa analyser har i många fall fått gå före provtagningar för andra ändamål, då kontinuiteten i försöksföljden ansetts betydelsefull. Inom denna lokalgrupp har önskemålet varit att erhålla 300 ml i varje prov, vilket å andra lokaler icke alltid varit möjligt.

Av förklarliga skäl har förf. icke kunnat utföra lika omfattande provtagningar från någon annan likartad lokal inom Bjurforsområdet. Försök i den riktningen ha gjorts, men de ha oftast strandat på det förhållandet att en sådan ur både geologisk och hydrologisk synpunkt utomordentligt lämplig lokal icke har stått att uppbringa inom räckhåll. Det har emellertid påvisats inom friska marker att grundvattnet har en katjonhalt, som varierar under året inom tämligen snäva gränser. Egendomligt nog äro dessa halter icke särskilt avvikande från de värden som erhöles i vattnet i sluttningar inom Bjurforsområdet. Här nedan skall även visas, att grundvattnet inom smärre försumpningar inom en för övrigt frisk marktyp endast i begränsad omfattning förmår att påverka de friska områdenas grundvatten och vice versa.

Området, som ligger mellan Gavelmossen i väster och Myrsjövägen i öster (se lokal-karta fig. 8), utgöres i sin nordliga del — inom den av förf. geologiskt karterade arealen — av ett relativt plant moränområde. Inom detta förekomma, som tidigare nämnts, en mängd små försumpningar, kännetecknade av vitmossfläckar. Mellan försumpningarna är skogstypen en normal husmoss-barrblandskog. På den friska marken förekommer i gläntorna blåbärsriset tämligen rikligt för att helt försvinna vid full slutenhet av bestånden. I ett tidigare arbete (TROEDSSON 1952) sammanställdes ett drygt 50-tal analyser från Bjurforsområdet, där skillnaderna mellan de friska och de försumpade markprofilernas grundvatten jämfördes. Analyserna voro således spridda över hela undersökningsområdet. Här nedan har endast valts ut de analyser, som ligga inom ett helt litet område öster om Gavelmossen. Järnpodsolens grundvatten äro sammanförda i lokalgrupp XIII (tab. 11), och i lokalgrupp XII (tab. 10) återfinnes järnhumus- och humuspodsolprofilens grundvatten. Skillnaden mellan järnhumus- och humuspodsolen är synnerligen diffus; i samma grop kunde båda typerna finnas. Önskemålet vid provtagningen var att om möjligt nå exakt samma djup för all provtagning i moränerna. Som synes av tabellerna har detta icke varit möjligt, oftast har man tvingats taga prov av grundvattnet där det överhuvud taget påträffats. Efter provtagningen grävdes resp. markprofiler fram. Det visade sig därvid att jordmånstyperna icke alltid voro tydligt ut-

Tabell 10. Grundvattenanalyser från lokalgrupp XII inom Bjurfors.
Grundwasseranalysen der Lokalgruppe XII in Bjurfors.

	27/8 1949 A 13	27/8 1949 A 14	27/8 1949 A 15	27/8 1949 A 21	27/8 1949 A 22	28/8 1949 A 23	28/8 1949 A 24	28/8 1949 A 25	29/8 1949 A 26	29/8 1949 A 27	29/8 1949 A 28	3/9 1949 A 29	3/9 1949 A 30	3/9 1949 A 31	4/9 1949 A 32	4/9 1949 A 33
SiO ₂	18,3	21,2	17,3	8,2	18,0	16,1	17,4	23,4	12,8	18,3	11,0	16,8	17,2	16,5	15,5	19,4
Al	0,1	0	2,1	0,3	0	0	—	—	—	0,1	—	0,2	0,4	0	0	0,1
Fe ²⁺	0,2	0,3	2,8	0,8	0,9	0,2	0,9	0,1	0,5	3,4	5,0	4,2	0,2	0,5	3,2	3,1
Fe ³⁺	0	0,1	0,8	0,4	0,1	0,2	0,4	0,3	0,8	0,8	1,0	1,8	0,6	0,8	0,8	0,4
Mn	0	0	0,2	0,1	0	0,01	0	0,1	0	0,01	0	0,02	0,04	0,2	0,1	0
Mg	1,4	0,8	1,1	0,9	—	0,9	1,0	0,9	0,8	0,2	1,0	1,2	1,1	1,2	1,5	1,7
Na	4,0	4,2	4,3	8,2	4,3	2,9	2,3	28	4,0	2,4	2,6	3,7	2,8	5,9	4,8	6,0
K	0,4	0,8	0,7	0,4	0,7	0,4	1,0	0,9	0,8	0,4	0,5	0,8	0,8	0,6	0,7	0,4
Ca	7,8	8,5	9,8	4,9	4,2	3,8	2,2	2,5	9,0	8,2	3,5	3,9	2,1	6,7	8,8	5,0
O ₂	0,2	0,8	0,3	0,1	0,2	0	0,2	0,1	0,5	0,4	0,8	0,2	0	0,1	0,4	0,2
pH	6,0	6,8	6,0	6,4	6,1	6,2	6,0	6,7	6,5	6,1	6,3	6,3	6,1	6,0	6,4	6,2
$\alpha : 10^{-6}$	61	56	59	70	50	36	39	40	72	62	52	41	38	45	74	59
Org.	132	46	75	118	60	29	52	30	38	45	16	74	28	38	120	88
Djup	1,2	1,1	0,8	0,4	0,7	1,3	1,4	1,2	1,8	0,4	0,6	0,28	0,9	1,1	1,2	0,8

Tabell 11. *Grundvattenanalyser från lokalgrupp XIII inom Bjurfors.*
Grundwasseranalyse der Lokalgruppe XIII in Bjurfors.

	28/8 1949	28/8 1949	29/8 1949	29/8 1949	4/9 1949	4/9 1949	5/9 1949	8/11 1949	8/11 1949	14/12 1949	19/12 1949	20/12 1949
	A 35	A 36	A 37	A 38	A 39	A 40	A 41	A 42	A 43	A 44	A 45	A 47
SiO ₂	12,5	8,9	—	—	15,3	6,9	—	18,3	10,8	15,6	18,3	10,2
Al	0	0	0,1	0,2	0	0,1	0,6	0	0,6	0	0	0
Fe ²⁺	0,6	0	—	0	0,2	0,6	0,2	0,2	0,5	0,6	0,2	0
Fe ³⁺	0,8	1,0	0,8	0,1	0	0,2	0,4	0,3	0	0	0	0,1
Mn	0	0,01	0	0,02	0,1	0	0	0	0	0	0	0
Mg	1,1	1,0	1,1	0,9	1,5	0,8	0,9	1,6	1,2	1,4	1,6	1,5
Na	2,4	2,5	2,8	2,2	3,6	4,5	8,2	3,2	4,1	2,2	4,3	4,5
K	0,8	0,2	0,4	0,1	0,5	0,7	0,6	0,4	0,3	0,7	0,6	0,4
Ca	2,8	2,9	5,0	3,4	3,9	2,1	4,2	2,8	3,6	4,5	4,2	3,9
O ₂	0,4	0,3	0,3	0,2	0,4	0,8	0,5	0,4	0,6	0,7	0,5	0,1
pH	6,6	6,5	6,2	6,3	6,7	6,8	6,9	6,7	6,4	6,8	6,7	6,6
$\kappa : 10^{-6}$	34	36	38	35	30	35	35	38	33	36	47	41
Org.	40	38	12	45	16	19	22	21	38	45	24	29
Djup	0,9	1,1	1,4	1,8	1,6	1,3	1,2	1,4	1,5	0,9	0,9	1,1

bildade. Detta förhållande förelåg så snart ytstenigheten resp. ytgrusigheten var mera utpräglad. Genom att välja detta begränsade plana moränområdet för grundvattenanalyser har förf. vunnit följande.

Området är skogligt sett synnerligen homogent, dvs. trädskikt, buskskikt, fältskikt etc. äro mycket likartade, geologien är tämligen ensartad (ytstenigheten varierar något i mäktighet, men underliggande sandig-moiga morän är ur kornstorlekssynpunkt mycket jämn), exponeringen är densamma osv. Enda ojämnheten är vitmossfläckarnas till synes slumpmässiga uppträdande. Man kan icke se att deras inverkan förorsakar oregelbundenheter i skogsträdens tillväxt, slutenhet el. dyl. (Utanför den lilla provytan bli på vissa håll försumpningarna med bottenskikt av vitmossor betydligt större, och då äro tillväxtförhållandena givetvis sämre).

Lokalgrupp XII

Lokalen ligger inom det plana moränområdet öster om Gavelmossen. Moräntäcket här är 2 à 3 meter mäktigt och gränsar mot Gavelmossen i väster, mot isälvsgrus åt nordväst och svallgrus längre norrut. Moränen som till större delen är ytstenig kännetecknas av smärre försumpningar. Lokal XII omfattar ett par hektar, där sådana försumpningar förekomma uppskattningsvis till 15 à 20 % av totala arealen. 15 vattenprov togs inom lokalgruppen och varje analys representerar (tab. 10) en sumpfläck men ur utrymmessynpunkt ges blott en allmängiltig växtplatsbeskrivning, då terrängen, vegetationen och bestånden äro synnerligen likartade. Detta förfaringssätt är än mera försvarligt, om man betänker att varje fläck

Tabell 12. Jämförelse mellan grundvattenanalyser (mg/l) från sumpmark och från frisk mark inom hela Bjurforsområdet och dels ett smärre lokalområde (lokalgrupperna XII och XIII).

Vergleich zwischen Grundwasseranalysen von versumpften und gesunden Boden teils innerhalb des gesamten Staatsforstes Bjurfors und teils innerhalb eines kleineren Gebietes entnommen (Lokalgruppen XII und XIII).

	Sumpmark		Friskmarksjord	
	Lokal-grupp XII	Området i sin helhet	Lokal-grupp XIII	Området i sin helhet
SiO ₂	16,7	15,5	12,9	12,0
Al	0,2	0,2	0,1	(0,3)
Fe ²⁺	1,6	1,1	0,3	0,2
Fe ³⁺	0,6	0,2	0,3	0,6
Mn	0,1	0,2	(0)	0
Mg	1,4	1,0	1,2	1,3
Na	4,1	3,7	3,7	2,8
K	0,6	0,7	0,5	0,4
Ca	5,7	5,6	3,6	3,0
O ₂	0,3	0,3	0,4	0,5
pH	6,3	6,4	6,6	6,6
Σ	53,4 · 10 ⁻⁶	59 · 10 ⁻⁶	36,5 · 10 ⁻⁶	32 · 10 ⁻⁶

är stundom blott 1 à 2 m stor. De största sumpmarksområdena äro 10 à 12 kvm. På lokal-kartan är området uttrit i sin helhet. Att det icke togs till större beror på att jag ville und-vilka alltför stora skogliga ojämnheter. Inom försöksområdet är moränen ytstenig men icke nämnvärt svallad. Däremot är den mera moig än sandig-moig. (Analys nr 11 tab. 50.)

Trädskiktet: Tämligen slutet, barrblandsamskog. Bonitet 3—4.

Fältskiktet: Enstaka bärris.

Bottenskiktet: *Sphagnum* sp. y och *Polytrichum commune*.

Markprofilen varierar mellan humuspodsol och järnhumuspodsol.

Lokalgrupp XIII

Lokalen ligger inom exakt samma område som föregående lokal. Skillnaden är att analy-serna härrör sig från friskmarksområdet. Analyserna, utförda mellan den 27/8 och 4/9 1949, äro jämnt fördelade över hela området, som ur botanisk synpunkt är synnerligen likartat.

Trädskiktet: Tämligen välsluten barrblandsamskog. Bonitet 3—4.

Fältskiktet: Enstaka bärris, stundom rikligt med blåbär.

Bottenskiktet: *Hylocomium splendens* r—y, *Pleurozium Schreberi* r—y.

I tabell 12 ha sammanställts dels de genomsnittliga analysvärden som gälla för hela det undersökta Bjurforsområdet (enl. TROEDSSON 1952) och dels de analyser som re-presentera den utvalda provytan som omfattar lokalgrupperna XII och XIII.

Praktiskt taget alla jonkoncentrationerna ökar (tab. 10 och 11) i de små fläckar där vitmossorna dominera bottenkiktet. Ett sådant förhållande får närmast tydas såsom en koncentrerings av de olika jonslagen till följd av dels högre vittringsintensitet (en ökad humussyreproduktion på grund av ett mäktigare humustäcke) och dels en starkare avdunstning från vitmossfläckarna än från de vitmossfria ytorna. Å andra sidan har lokalgruppen XIII (friskmark) en högre elektrolythalt än Bjurforsområdet i sin helhet (tab. 12), medan förhållandet är motsatt för sumpmarkernas grundvatten (lokal XII). Det torde sålunda vara uppenbart att en viss, begränsad blandning av de bägge grundvattentyperna föreligger, även om denna försiggår synnerligen långsamt. Tydligen äro de små försumpningarna tillräckligt stora för att en iakttagbar reduceringsmiljö (Fe^{2+}) skall komma till stånd, vilket inte bara medför ökade katjonhalter i sumpfläckarnas grundvatten utan även påverkar jonkoncentrationerna i omgivande friskmarkers grundvatten. Man ställer sig emellertid frågande inför hur det inom nästan plan mark och inom ett förhållandevis litet område är möjligt att de små försumpningarna ha kunnat uppstå, och vad som betingar så helt olika grundvattenmagasin, som förvisso står i viss kontakt med varandra, men dock var för sig äga karaktäristiska jonkoncentrationer. Vid grävningar visade det sig emellertid att de små försumpningarnas grundvatten voro lokala och betingades av berggrundsyttans relief. Där sålunda hälletan låg endast några decimeter under markytan och bildade en skålformad yta, var det vanligt att sjunkvattnet blev stående. Detta är en erfarenhet som även O. TAMM (1931) tidigt gjort. Vid kontrollsugningar av detta grundvatten lyckades det förf. att läns pumpa dylika magasin. En intressant iakttagelse var att dessa vattenmagasin fylldes snabbt även vid förhållandevis små regn. Hälletan behöver icke vara skålformad i bokstavlig bemärkelse utan även en svagt trågformad relief och t. o. m. nästan plana hälletor voro tillräckliga för att giva upphov till vattensamlingar. Den sandig-moiga moränen, som inom dessa plana arealer är tämligen hårt packad, medger blott ringa sidoinfiltration. Grundvattnet blir stående och genom avdunstning uppåt sker en viss koncentrerings.

Vid en mätning av vattenstånden i sugrören fann förf. under en nederbördsperiod i mitten av november 1949 att grundvattenståndet oscillerade mera inom sumpmarkerna än inom friskmarkerna. Detta förhållande torde vara förklarligt, i de fall då sumpmarkerna äro helt små och äga en botten av hållar el. dyl. — Det är oftast svårt att insamla ytvatten inom plana moränområden och om ytvatten påträffas så sker det vanligen i sumpmarkerna, där de lösa avlagringarna icke äro alltför mäktiga. Ytvattnet inom dessa områden kommer därför huvudsakligen att kunna insamlas i öppna diken, smärre svackor etc.

I det följande skola vi söka behandla ytvattnets och grundvattnets kemiska egenskaper inom sådana plana områden, där de båda vattenfraktionerna enligt gjorda fältiakttagelser kunna antagas vara direkt beroende av varandra. Sålunda utvaldes lokalgrupp X (fig. 20), som ligger strax öster om Bjurfors herrgård (se lokalkarta fig. 8).

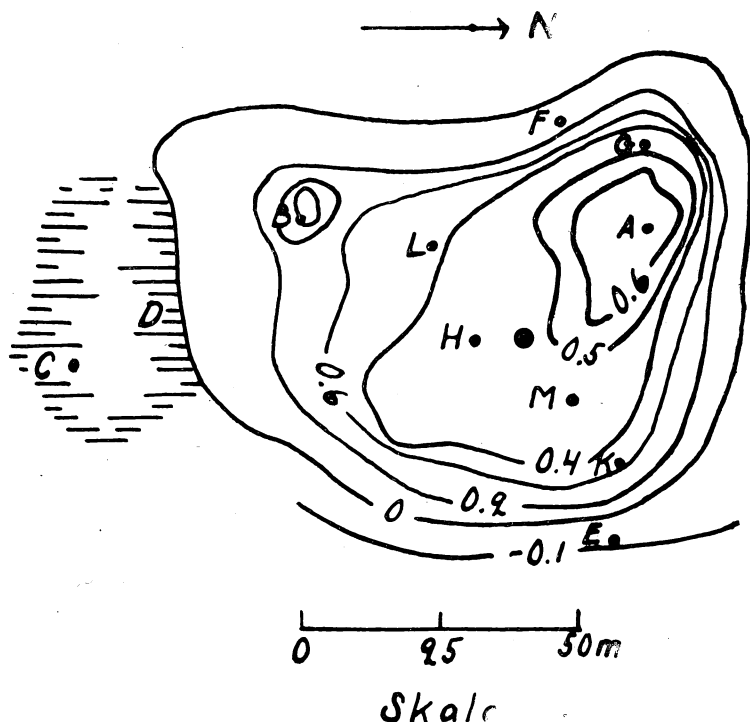


Fig. 20. Nivåkarta över lokalgrupp X. Ekvidistans 0,1 m.
Niveauekarte der Lokalgruppe X.

Lokalgrupp X

Lokalgruppen ligger på ett relativt plant område (se fig. 20) bestående av sandig-moig morän, nästan helt osvallad men dock ytstenig. Med undantag av lokalerna C, D och E är markprofilen järnpodsol med ett stundom 3–5 cm mäktigt blekjordskikt. Råhumus 4–5 cm. Försumpningen vid lokal C och D har ett 10–20 cm mäktigt torvtäcke med därunder humuspodsol-betonad markprofil.

Skogstypen är för området i sin helhet husmosskog med 50–60-årig barrblandskog, över-sluten vid provtagningsstillfället 1949. Markvegetationen var 16/8 1949:

Lokal A: *Vaccinium Vitis-idaea* e, *Vaccinium Myrtillus* e, *Deschampsia flexuosa* e.
Bottenskikt: *Pleurozium Schreberi* y, *Hylocomium splendens* e.

Lokal B: Vegetation är densamma som på föregående lokal. Enstaka *Sphagnum*-tuvor täcker själva provtagningsfläcken som utgöres av en helt liten sänka.

Lokal C och D: Analysvattnet från C utgör grundvatten medan analysvattnet från D är ytvattnet från samma lokal. I själva provtagningsfläcken *Polytrichum commune* y, för övrigt täckes sumpmarken av *Sphagnum Girgensohnii* r. På tuvor, stubbar etc. förekommer *Vaccinium Myrtillus* e, *Vaccinium Vitis-idaea* r, *Deschampsia caespitosa* e, *Pleurozium Schreberi* r.

Lokal E: Björk och al i buskform s, *Vaccinium Vitis-idaea* s, *Vaccinium Myrtillus* s, *Luzula pilosa* e, *Deschampsia flexuosa* e, *Pleurozium Schreberi* på stubbar r, *Sphagnum Girgensohnii* fläckvis tämligen rikligt.

Lokal F: *Vaccinium Vitis-idaea* e, *Vaccinium Myrtillus* e, *Majanthemum bifolium* e, *Deschampsia flexuosa* e, *Pleurozium Schreberi* y.

Lokal G: *Deschampsia flexuosa* e, *Hylocomium splendens* och *Pleurozium Schreberi* r—y.

Lokal H: Som föregående lokal med tillägg av enstaka blåbär.

Lokal K: Lokalen ligger i kanten av beståndet och bildar en svag sluttning. Enstaka björkar, *Vaccinium Vitis-idaea* s, *Majanthemum bifolium* e, *Calamagrostis arundinacea* e, *Deschampsia flexuosa* s, *Pleurozium Schreberi* s, *Hylocomium splendens* str.

Lokal L och M: Båda dessa lokaler ligga invid var sin gränstam. Markvegetationen är husmosskog med företrädesvis *Pleurozium Schreberi* och fläckvis rikligt med *Hylocomium splendens*.

Analyserna från de olika lokalernas yt- eller grundvatten framgå av tab. 13. Den högsta ledningsförmågan har lokal D, vars analysvatten består av ytvatten. Detta ytvatten har den högsta järnhalt som förf. funnit inom Bjurforsområdet och den är svår att förklara. Förmodligen rör det sig om en s. k. järnkälla, men hur källvattnet rinner fram lyckades förf. icke finna. O. TAMM (1920 s. 266) anser att »de höga järnkonzentrationerna i grundvattnet inom vissa fläckar i sumpmarkerna uppkomma sålunda med all sannolikhet genom växelvis tillrinning, avdunstning och bortrinning (nedåt) av grundvatten, varvid ett flertal lösta ämnen anrikas och däribland i synnerhet järnet, som vid tider av lågt vattenstånd och genomluftning i marken kan magasineras i form av gleybildningar och sedan vid tider av högt vattenstånd och reducerande betingelser åter kan gå i lösning. Möjligen kan även en magasinering av järnet i form av siderit tänkas. Avloppsådrorna från dylika fläckar kunna ge upphov till järnkällor.»

Sänkan vid B med enstaka *Sphagnum*-fläckar är tillräcklig för att höja ledningsförmågan något litet utöver det för friskmarksjordar normala. Om man följer lokalerna vinkelrätt mot nivåkurvorna t. ex. lokalerna A, M, K och E finnes intet som tyder på ett exakt enhetligt grundvatten. Fastläggningen av kalium är på intet sätt överensstämmande med de utefter en sluttning, där en och samma vattenström kunnat följas, gällande förhållandena.

Av intresse är att närmare jämföra de olika slag av ytvatten, som förekomma inom denna lokalgrupp. Lokalerna B, D och E äga en vegetation där *Sphagnum*-arter äro tämligen rikligt förekommande. Katjonhalternas värden i de tre ytvattenanalyserna växlar betydligt och ledningsförmågan för lokal E anger närmast ett friskmarksgrundvatten, medan de övriga ha värden som ofta återfinnas i sumpmarkernas grundvatten. Inom alla tre lokalerna utgöres jordarten av sandig-moig morän och skogstypen är den vanliga husmossbarrblandskogen. Skogsbeståndets jämnhet synes icke påverkas av de små sumpfläckarna. Nivåskillnaderna mellan lokalerna B, D och E äro praktiskt taget obefintliga osv. Man kan med andra ord säga att ståndortsegenskaperna äro tämligen likartade för lokalerna B och E och visserligen är sumpmarken vid D tämligen stor, men den senare lokalen har dock en vegetation som icke nämnvärt avviker från de övrigas. Grundvattnens katjonhalter äro betydligt mera lika sinsemellan än ytvattens. I någon mån får man en förklaring till dessa ytvattens olik-

Tabell 13. Grundvattenanalyser och ytvattenanalyser från lokalgrupp X (mg/l).

Grundwasseranalysen und Oberflächenwasseranalysen der Lokalgruppe X.

1949	15/8	17/8	24/8	4/8	9/8	23/8	16/8	11/8	10/8	12/8	24/8
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	M
SiO ₂	16,5	18,5	23,7	7,4	14,5	19,5	12,5	12,1	15,8	12,3	18,3
Al	0	0,2	0	0,4	0,3	0	0	0,1	0	0,1	0
Fe ²⁺	0,2	0,8	—	1,2	0,1	0,4	0,2	0	0	0,1	0
Fe ³⁺	0,4	0,1	0,2	15,0	0,37	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1
Mn	0	0	0,2	0,3	0	0,1	0	0	0	0,1	0
Mg	1,1	1,5	1,7	0,9	1,6	1,5	1,5	1,2	1,5	1,1	1,3
Na	5,3	6,1	6,0	4,3	2,6	2,7	2,8	4,5	5,1	3,5	4,7
K	0,6	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,6	0,7	0,4	0,5
Ca	3,0	2,2	6,0	5,8	5,0	2,5	2,8	3,1	3,5	2,8	2,1
O ₂	0,5	0,16	0,8	0,1	0,4	0,6	0,11	0,6	3,2	3,0	2,1
pH	6,2	5,8	6,3	5,7	6,8	6,4	6,9	6,8	6,7	6,4	6,7
κ : 10 ⁻⁶	34	47	69	90	32	31	31	33	36	38	33
Org.	16,3	47,1	17,8	102,0	45,9	36,2	34,0	25,0	12,8	43,0	35,7
Djup i m	1,9	Ytan	1,1	Ytan	Ytan	1,0	0,7	0,9	0,8	1,2	1,3

artade kemiska sammansättning genom syrevärdena i tabell 13. Enligt dessa torde E ha det rörligaste ytvattnet medan D har det mest stillastående ytvattnet. Fe^{2+} -halten synes vara vackert omvänt korrelerad med syrehalten. Egendomligt nog har grundvattnet i lokal C lägre ledningsförmåga än vad ytvattnet (lokal D) har. Måhända beror detta senare förhållande på att förf. på 1,1 m (lokal C) djup har nått det allmänna grundvattenskikt, ur vilket prov tagits på de övriga lokalerna. Inom lokalgruppen X gävo fältiakttagelserna, som ovan nämnts, vid handen att ett samband syntes föreligga mellan yt- och grundvattnet. Sammanfattningsvis måste emellertid framhållas att ett dylikt samband icke går att spåra i vattenanalyserna. Detta senare tyder förf. som ett sannolikhetsbevis för att ytvattnets nederinring till grundvattnet inom plan mark är ytterst långsam eller obefintlig (trots att jordarternas genomsläpplighet kan synas vara stor). Även om man erhåller höga katjonhalter i ytvattnet, synes dessa icke påverka grundvattnets jonkoncentrationer. Tilläggas bör i detta sammanhang att nederbörden under och före försöksperioden var ungefär den normala enligt de meteorologiska iakttagelserna vid Bjurfors skogsskola. Grundvattnets ytterst obetydliga tillskott genom perkolering från markytan, när denna är plan, kan bero på att den stora avdunstningen under vegetationsperioden temporärt bromsar eller rent av avbryter ifrågavarande perkolering. Inom plana moränområden, där ytvattnet ansamlas i sänkor, skulle avdunstningen följaktligen kunna vara större än infiltrationshastigheten. På de punkter, där ytvattnet går att provtaga, förefinnas vanligen små sänkor. I sänkorna kan råhumusen vara torvartad, vilket får tydas som en följd av att ytvattnet tidvis blir stående här.

Sker provtagningen av yt- resp. grundvattnet under höst- eller vintertid kan man ävenledes erhålla tydliga skillnader i de båda vattenfraktionernas katjonhalter. Detta har iakttagits inom lokalgruppen XIV, men ytvattnet har där som regel lägre ledningsförmåga än vad grundvattnet har.

Lokalgrupp XIV

Lokalen utgöres av ett f. n. igenväxande grustag i nedsvallat material, som här bildar ett 3, högst 4 meter mäktigt lager. I dess äldre delar 15–20-årigt tallbestånd med något äldre gran, enstaka björkar samt en del brakved, en och asp. Grustagets botten utgör c:a 400 m². Vid praktiskt taget varje nederbörd, som överstiger 15 mm, kommer grundvatten ner i grustaget från norr och söder om liggande hällområden. Vattenprov äro dels tagna i det framsipprande grundvattnet och dels i det stillastående mera ytvattenbetonade grundvattnet. När den bildade vattenbassängen får stort tillskott av grundvatten kan avlopp ske i östlig riktning. Förf. har tagit sina vattenprov i huvudsak i det rena gruset, varför det ansetts ståndortsmässigt riktigast att skildra grustagets vegetation i sin helhet.

Fältskikt: *Tussilago farfara* 1 (vanligt just på de platser där grundvattnet bryter fram. hästhoven bildar gärna den första vegetationen i det blottade grustaget), *Calluna vulgaris* 1,

Tabell 14. Yt- och grundvattenanalyser (mg/l) från lokalgrupp XIV.

Oberflächen- und Grundwasseranalysen der Lokalgruppe XIV.

	18/11 1950	18/11 1950	18/11 1950	18/11 1950	18/11 1950	18/1 1952	18/1 1952	18/1 1952
	67	68	69	70	71	160	161	162
SiO ₂	11,8	12,0	10,8	13,6	12,9	13,8	8,2	10,1
Al	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,04	0,05	0,02
Fe _{tot}	0,01	0,08	0,01	0,01	0,01	0	0	0
Mn	0	0	0	0	0	—	—	—
Mg	0,9	0,8	1,0	1,4	0,6	1,3	1,1	0,9
Na	2,0	2,3	2,0	2,9	2,9	3,9	4,8	4,5
K	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Ca	3,9	2,4	4,0	5,0	7,1	4,1	2,0	2,7
O ₂	0,8	1,2	0,3	0,4	0,2	0,9	1,2	1,4
pH	6,6	6,6	6,8	6,6	6,8	6,7	6,6	6,8
$\alpha : 10^{-6}$	32	29	33	46	54	42	24	27
	Grund- vatten	Yt- vatten	Grund- vatten	Yt- vatten	Grund- vatten	Grund- vatten	Yt- vatten	Yt- vatten

Fragaria vesca fläckvis r, *Potentilla erecta* e, *Anemone Hepatica* e, *Veronica officinalis* e, *Euphrasia officinalis* e, *Achillea Ptarmica* e, *Geranium silvaticum* e, *Dryopteris Filix* mas. e, *Solidago Virgaurea* e, *Lathyrus tuberosus* e, *Thelypteris Dryopteris* e, *Pteridium aquilinum* e, *Anemone nemorosa* e, *Vaccinium Vitis-idaea* e, *Melampyrum pratense* e, *Succisa pratensis* e, *Athyrium Filix femina* e, *Viola palustris* e, *Hieracium umbellatum*, *Agrostis tenuis*, *Deschampsia flexuosa*.

Bottenskikt: *Pleurozium Schreberi* r, *Sphagnum nemorum* fläckvis r, *Sphagnum Girgensohnii* m. fl. *Sphagnum* sp.

Markprofil ej utbildad.

Lokalgrupp XIV ligger 1200 m SSO Bjurfors herrgård i ett grustag invid Myrsjövägen. Materialet är i huvudsak nedsvallat grus från ovanför liggande områden. Grundvattnet inom denna lokal har runnit c:a 500 m i svallgrus från själva infiltrationsområdet. Lokalen äger den fördelen att man ser vattnet sippra fram i grustagets botten varför inverkan av A- och B-horisonterna — i relation till andra lokaler — i detta fall kan anses vara av underordnad betydelse. Vi ha alltså här ett mycket typiskt grundvatten. Den vegetation som finnes i botten av grustaget varierar ut mot kanterna allt eftersom grustäkt förekommer. Intressant är att *Tussilago farfara* är den växt, som först in finner sig på det blottlagda gruset. Strax ovanför grustaget förekommer fläckvis tunn-sått med blåsippor. Såväl urkalksten som grönstenar av olika slag har påträffats i moränen ej långt från lokalen, men deras förekomst är ytterst sparsam. Grustaget bildar ej någon slutgiltigt uppsamlingsskål för det silande grundvattnet utan i östlig riktning

finns goda avloppsförhållanden. I tabell 14 äro yt- och grundvattenanalyserna angivna. Provtagningslokalerna äro så jämnt fördelade som möjligt i grustaget.

Analyserna visa att Ca^{2+} -halten är tämligen hög i vissa analyser. Ända till 7.1 mg Ca^{2+} pr liter i analys 71 förklarar nöjaktigt de kalkälskande växternas förekomst. I analyserna 68 och 161 är den emellertid tämligen normal. K^{+} -halten är låg och likaså Na^{+} -halten. Magnesium har lägre halter än i de »gänsse grundvattnen», vilket får förklaras av den längre transporten. Syrehalten är icke särskilt hög; de högsta värdena erhöles i januari 1952 då snö och tjäle bör ha nedsatt grundvattenrörelsernas aktivitet. I förhållande till tidigare anförda analyser uppvisar lokalgrupp XIV tämligen klara skillnader mellan yt- och grundvattnets egenskaper. Av proven för ytvattenanalyser är nummer 70 taget där vegetationen vid tillfället varit översvämmad av vatten. Analyserna 161 och 68 härrör från vegetationslös mark (dvs. där grustäkt nyligen förekommit). Prov av grundvattnet är som nämnts tagna direkt där detsamma sipprar fram i grusväggen.

Sammanfattningsvis visar lokalgruppen XIV 1) att grundvattnet får en för friska marker karakteristisk katjonhalt trots att det till större delen passerat svallgrus — utan att först perkolera genom markprofilens olika horisonter; 2) tydligt iakttagbara skillnader mellan yt- och grundvatten; 3) ytvattnet erhåller en hög ledningsförmåga då det står en tid så högt att vegetationen täckes; 4) trots en lång infiltrationsväg för grundvattnet erhålles efter blott en helt liten nederbörd omedelbart en höjning av grundvattennivån i grustaget ifråga, vilket tyder på en hastig vattenrörelse i svallgruset.

Vi skola närmare diskutera de under 2) erhållna resultaten. Ytvattnets katjonhalter inom denna lokalgrupp är visserligen väl avgränsade mot grundvattnets koncentrationsförhållanden i den mån man kan utläsa detta ur κ -värdena. Men ställas ytvattnets halter av olika växtnäringsämnen i relation till exempelvis motsvarande halter i vatten från Fröbenbenningen så kan man knappast iakttaga någon skillnad. Lokalt sett få vi sålunda en viss skillnad mellan yt- och grundvattnet — och detta gäller för denna lokal, som icke provtagits under själva vegetationsperioden — men skillnaderna äro icke så stora som för övriga lokaler inom Bjurforsområdet. Ytvattnet har en lägre katjonhalt i jämförelse med grundvattnets katjonkoncentrationer enligt tabell 14, men oaktat detta kan ett ytvatten efter en tids stillastående även under denna årstid erhålla en viss koncentrerings i sin näringsämneshalt. Denna koncentrerings ger exempelvis enligt analys 70 närmast upphov till ett vatten som motsvaras av sumpmarkernas grundvatten. (Detta är en viktig iakttagelse då man kan förmoda att inom lägre liggande områden, där grundvattnet ofta stiger upp i markytan, borde dräneringsvattnet få tämligen höga katjonhalter.)

Otvivelaktigt ha grundvattenundersökningarna inom Bjurfors kronopark bl. a. visat att skillnaderna mellan ytvattnets och grundvattnets kemiska sammansättning äro små. Det skulle vara betydelsefullt att utreda den kemiska sammansättningen av dränevattnet inom förf:s hela undersökningsområde. Skillnaderna mellan detta vatten

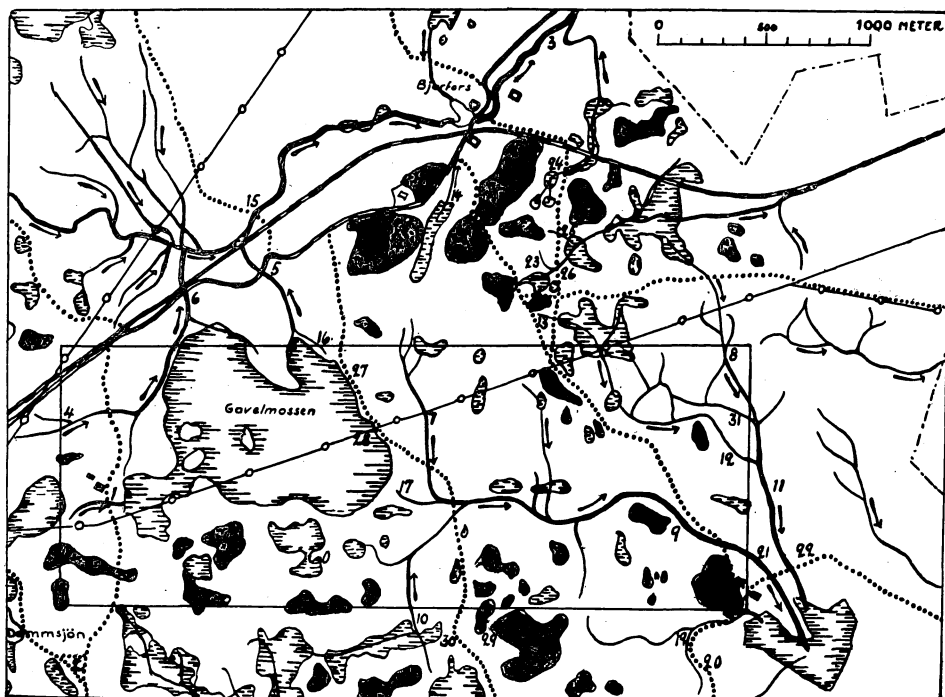


Fig. 21. Dräneringsvägar inom försöksområdet å Bjurfors kronopark. Siffrorna hänvisa till ytvattenanalyser (se tab. 15).

Die Wege der natürlichen Drainage des Versuchesgebietes im Staatsforst Bjurfors. Die Zahlen beziehen sich auf Oberflächenwasseranalysen (vgl. Tab. 15).

å ena sidan och grundvattnet å andra borde ej vara så stor, om vi i våra skogsmarker verkligen hade en mycket snabb vattenrörelse utmed hållmarker, ytvrinning o. dyl. Tidigare ha vi också i detta arbete visat den obetydliga skillnaden mellan smärre ytvattensamlingars och grundvattnets jonkoncentrationer på många lokaler inom Bjurforsområdet.

I fig. 21 är undersökningsområdets vattenvägar kartlagda.

Från Gavelmossen och åt SO går den största delen av vattenavrinningen från det undersökta området. De nordvästra och nordöstra hörnen av området avskäras av bredvidliggande områdens avrinningsvägar. Så vitt det varit möjligt har vattenvägarnas storlek med hänsyn till den grovt uppskattade relativa avrinningen markerats med olika tjocklek på dräneringsvägarna i fig. 21. Varje bäck, dike el. dyl. som leder till eller från undersökningsområdet är medtagen.

Ledningsförmågan — uttryckt i κ — i allt det ytvatten (se tab. 15) som rinner från vattendelaren åt både norr och söder, ligger omkring $30 \cdot 10^{-6}$ ($28,7$ — $33,8 \cdot 10^{-6}$). Dvs. infiltrationen utefter hållar och svallgruslager m. fl. sediment, som känneteckna terränger så här långt under högsta kustlinjen, ger den konstanta ledningsförmåga,

Tabell 15. Ytvattenanalyser inom Bjurfors kronopark (mg/l).

Oberflächenwasseranalysen im Staatsforst Bjurfors.

Lokal nr	Al	Fe	Mg	Na	K	Ca	$\kappa : 10^{-6}$
1	0,48	0,3	1,8	4,5	0,8	2,0	29,7
2	0,02	0	0,6	4,6	1,2	4,6	45,2
3	0,2	0,2	1,6	4,2	0,8	4,6	41,5
4	0,32	0,2	3,0	5,0	0,9	11,4	98,5
5	0,05	0,2	2,2	5,8	1,3	10,5	92,6
6	0,03	0,3	1,7	4,3	0,7	3,2	34,4
7	0,81	0,3	1,9	6,0	0,9	2,5	39,1
8	0,30	0,1	2,2	5,5	0,7	3,4	39,0
9	0,35	0,3	1,7	4,7	0,4	2,9	33,2
10	1,4	—	—	6,1	0,4	2,0	33,2
11	0,25	0,3	2,2	5,5	0,8	3,0	41,6
12	0,18	0,3	2,1	5,2	1,3	2,8	40,6
13	0,08	spår	1,6	5,3	0,9	3,5	54,8
14	0,10	0,2	0,8	4,1	0,4	2,0	35,1
15	0,05	0,2	1,0	5,3	0,8	4,1	39,1
16	0,07	0,2	0,2	4,3	0,5	1,7	67,6
17	0,70	0,7	1,6	4,3	0,6	3,0	33,0
19	0,72	0,5	1,5	5,0	0,5	2,4	32,8
20	0,2	—	—	4,7	1,1	8,4	67,0
21	0,78	0,4	1,5	4,2	0,5	3,6	36,6
22	0,2	—	2,5	6,8	0,8	4,6	54,4
23	0,18	0	2,1	5,6	0,5	2,4	37,0
24	0,31	0	1,0	5,1	1,2	1,4	29,9
25	0,25	0	0,5	4,5	2,8	0,5	31,0
26	0,10	0	1,9	4,2	0,4	4,1	43,1
27	0,02	0	0,5	5,0	1,0	0,9	25,1
28	—	—	1,9	6,3	1,0	7,2	45,0
29	0,16	0,1	0,6	5,2	0,7	0,9	28,7
30	0,27	0,2	1,0	5,1	0,3	2,0	35,4
31	0,07	0,2	1,8	5,0	0,5	3,0	39,7
1/n	0,29	0,2	1,5	5,1	0,8	3,2	43,5

som är välkänd från grundvattenanalyserna. På östra sidan om Gavelmossen ligger det flacka moränområdet, där försöksytan (lokalerna XII, XIII) med små försumpningar

på i övrigt friskmarksjord ligger. I tabell 12 erhöles för försumpningarna $\kappa = 53,4 \cdot 10^{-6}$ och för friskmarksjorden $36,5 \cdot 10^{-6}$. För området i dess helhet var motsvarande siffror $59 \cdot 10^{-6}$ och $32 \cdot 10^{-6}$. Det är sålunda tydligt att vi ha en viss blandning av de olika grundvattnen, vilket också framgår ur ovan anförda tabell. Lokal 7 (fig. 21) har $\kappa = 39,1 \cdot 10^{-6}$ och i Gavelmossen, som erhåller sitt vatten i östra kanten från samma moränområde, är ledningsförmågan $45 \cdot 10^{-6}$. Fortsätter man huvudvattenstråket genom försöksområdet mot Myrsjö gård, så sjunker κ till följd av utspädning, för att sedan återigen öka genom att de odlade områdena kring nämnda gård leverera vatten av högre elektrolythalt.

Rör man sig inom ett område i östra delen av försöksytan, där styva mellanleror, lättleror och mjälor dominera, blir κ något större. Från lokal 8 (fig. 21) och vidare över lokalerna 31, 12, 11 och 22 blir κ ständigt stigande dvs. elektrolythalten ökar successivt till ett slutvärde på $54,4 \cdot 10^{-6}$. Vattensedimenten lämnar sålunda proportionellt större mängder lösta växtnäringsämnen ifrån sig. Detta sistnämnda förhållande kan dels bero på en större omsättning i marken till följd av en ökad produktion på dessa marker, dels kan det bero på de finare partiklarnas större vittringsförmåga, och dels på att de finare sedimenten alltid ligga i sänkor och utsättas för betydligt mer omfattande ursköljningar än omgivande höjder. (Jämför höga katjonhalter i stillastående ytvatten inom lokalgrupp XIV). Av intresse är den ökade ledningsförmågan på grund av bebyggelse mellan lokal 15 ($\kappa = 39,1 \cdot 10^{-6}$) och lokal 3 ($\kappa = 41,5 \cdot 10^{-6}$), som kanske icke synes vara så stor. Men jämföres lokal 3 med lokalerna 14 ($\kappa = 35,1 \cdot 10^{-6}$) och 24 ($\kappa = 29,9 \cdot 10^{-6}$) blir skillnaden större. Bebyggelsens betydelse kring Bjurfors skogsskola eller vid Andersbenning norr om Gavelmossen belyses även om lokal 6 ($\kappa = 34,4 \cdot 10^{-6}$) och lokal 3 ($\kappa = 41,5 \cdot 10^{-6}$) jämföras. Skillnaden är c:a 17 %. Lokal 5 har visserligen en mycket hög ledningsförmåga, men avrinningen är här betydligt mindre än vid lokal 6. Det är således uppenbart, att även en helt liten bebyggelse förmår att starkt inverka på ledningsförmågan i dränagevattnet.

Av metallkatjonerna är det framför allt de höga Ca^{2+} -halterna i analyserna från lokalerna 28 och 5 som man frapperas utav. Det må nämnas att man vid Gavelmossens östra lagg finner fläckvis tämligen rikligt av sådana kalkälskande växter som *Eriophorum latifolium* och *Selaginella selaginoides*. De höga kalciumhalterna får anses härröra från urkalksten, grönstenar eller dylikt, som underlagrar strandgruset utefter denna sida av mossen. För övrigt är medelvärdet för kalcium i överensstämmelse med motsvarande värden för grundvattnet. Medtages endast de värden som erhållits inom försöksområdet (och då med utelämnande av Gavelmossens lagg) blir medelvärdet för kalciumhalten lägre.

Som påvisades redan för grundvattnet erhåller man förhållandevis höga Al^{3+} -halter i ytvattnet. Dock sker en viss fastläggning vid långa transporter (jfr lokalerna

10, 17, 7 och 9). Den högsta Al^{3+} -halten ger lokal 10 inom försöksområdet. Inom samma lokaler får man ett exempel på hur K^+ och Mg^{2+} fastlägges, medan järnet håller sig tämligen konstant. Även lokalerna 8, 31, 12, 11 och 22 visa för kalium och magnesium hur man först erhåller en fastläggning (mellan lokal 8 och 31), därefter tillskott från vattensedimentområdet (lokal 12); därefter fastläggning (lokal 11) och sedan återigen tillskott (lokal 22) antingen genom att vattensedimentområden passeras eller genom gödslingseffekter från de odlade jordarna. För såväl K^+ som för Mg^{2+} framgår detta lika vackert för lokalerna 4, 6, 15 och efter den successiva fastläggningen blir det plötsligt tillskott efter de odlade områdena kring Bjurfors (lokal 3). För järnets del kan man göra en del intressanta iakttagelser. I sådana lokaler, som ligga i närheten av infiltrationsområdena såsom lokalerna 29, 13, 26, 23, 25, 24, 27 äro Fe_{tot} -halterna mycket låga eller lika med noll. Efter en viss transportsträcka erhålles järnet i en sluthalt av 0,2—0,4 mg/liter. Otvivelaktigt kvarstannar järnet såsom trevärt järn i B-horisonten i friskmarksjordar. I de humuspodsolbetonade jordarna i sänkor har järnet större möjligheter att såsom tvåvärt vandra ned tills det utfälles som trevärdade föreningar. Ju större omfattning dessa jordmånar ha kring det dränerande diket desto större möjligheter för en ökad Fe_{tot} -halt i slutet av dränageledningen. Na^+ -halten är tämligen konstant och dess joner ha också som bekant den största förmågan att undgå fastläggning och stanna därför i vattnet.

De här framlagda ytvattenanalyserna visa en stor likhet med de ovan framförda grundvattentypernas. I vissa fall är näringsämneshalten betydligt större i ytvattnet än i grundvattnet. Så är fallet då det från friska marker kommande grundvattnet först passerar genom finkorniga vattensediment innan det når diken, bäckar etc. Skillnaderna äro emellertid små och detta förhållande endast understryker de tidigare erfarenheterna om en snabb perkolering. Hällavrinningen, ytavrinningen utefter sluttningar på den osvallade moränen, perkoleringen genom rotkanaler, som under nästan en hel skogsgeneration kan tänkas vara permanenta osv. äro tydligen av stor betydelse för avrinningen. Man blir starkt benägen för att tro att nedrinningen på *bred front* i skogsmarken icke är av särdeles stor betydelse för vattentillförseln till våra åar och älvar.

Det återstår emellertid tvenne viktiga uppgifter innan riktigheten i ovanstående iakttagelser kan bedömas. För det första: Hur god är överensstämmelsen mellan ett områdes yt- och grundvatten å ena sidan och dess sjö-, å- och älvvatten å andra sidan? Den andra frågan är: Sker någon vattenrörelse över huvud taget på bred front i våra skogsmarker och i så fall i vilken omfattning och hur blir kemiska sammansättningen av sådant vatten?

Dessa bägge problemställningar äro ur skoglig synpunkt mycket betydelsefulla. I kommande kapitel skall den andra frågan besvaras och den första frågan skall behand-

las i slutkapitlet. Förf. har valt att här endast framlägga sitt material och sedan jämföra de erhållna resultaten i ett slutkapitel.

Innan vi emellertid behandla infiltrationsförhållandena i skogsmarken är det lämpligt att behandla det analysmaterial som insamlats såsom jämförelse med Bjurforsanalyserna från andra områden.

b. Grenholmen-området

Samstämmigheten mellan grundvattnets och ytvattnets kemiska sammansättning inom Bjurforsområdet var anmärkningsvärt god. Det vore av intresse att undersöka om så även är förhållandet inom områden där katjonkoncentrationerna äro betydligt större i markvätskan och då tänker man närmast på de kambrosilurpåverkade jordarterna såsom de lämpligaste att undersöka. Önskvärt vore emellertid att klimatet i Bjurforsområdet och en lämplig dylik lokal icke borde i alltför hög grad avvika från varandra och dessutom borde en dylik lokal icke ligga för långt från laboratoriemöjligheter. Valet kom att falla på ett av de små områdena i nordöstra Roslagen — Grenholmen — där den sandig-grusiga moränen stundom är uppblandad med kambrosilurmaterial i en sådan grad att vegetationen blir den typiskt kalkbundna.

I tabell 16 har en sammanställning skett av analyser från lokal XVIII, där skillnaderna i katjonhalt mellan yt- och grundvattnet framgår.

Lokalgrupp XVIII och XIX

Lokalen ligger i ett medelåldrigt icke helt slutet barrblandbestånd. Vattenproven äro tagna i en sluttning mellan tvenne moränhöjder. Nedanför lokalen ligger en sumpmark. Jordarten består av överst en mjälig mellanlera, som innehåller så pass mycket grus och sten att den ger ett intryck av att vara morän. Under vattensedimenten intill hälletan på 1,5 meters djup ligger ett sandigt grus där det vid praktiskt taget alla provtillfällen varit lätt att få vatten. Lokaler XVIII och XIX ligga blott 5 meter ifrån varandra. Lokal XIX ligger inom en mera fullsluten del av beståndet, för övrigt är vegetationen på de båda lokalerna likartad.

Fältskiktet: *Vaccinium Vitis-idaea* s, *Agrostis tenuis* t, *Sanicula europaea* t, *Oxalis acetosella* t, *Fragaria vesca* t, *Deschampsia flexuosa* t, *Ramischia secunda* t, *Vaccinium Myrtillus* e, *Luzula pilosa* e, *Geum rivale* e, *Geranium silvaticum* e, *Thelypteris Dryopteris* e.

Bottenskiktet: *Pleurozium Schreberi* y, *Hylocomium splendens* s, *Rhytidiadelphus triquetrus* s, *Ptilium crista-castrensis* t, *Dicranum undulatum* t.

Den vid Bjurforsförsöken funna likheten i vissa avseenden mellan yt- och grundvattnet finnes till synes icke här. Grundvattnet har 3—5 gånger större κ -värden i förhållande till ytvattnet, som dock i sin tur ligger avgjort högre än i Bjurforsområdets grundvatten. Av samtliga jonslag med undantag av aluminium och järn har grundvattnet de högsta koncentrationerna. pH-värdena äro dock tämligen likartade. Mangan förekommer huvudsakligast i grundvattnet och då i mängder som icke äger sin motsvarighet inom Bjurforsområdet. Vissa likheter mellan Grenholmenområdets och Bjurfors vattenförhållanden förefinnas dock. Sålunda är aluminiumhalten närmast obe-

Tabell 16. Yt- och grundvattenanalyser å lokalgrupp XVIII (mg/l).

Oberflächen- und Grundwasseranalysen der Lokalgruppe XVIII.

Grundvatten Grundwasser	12/11 1949 A 41	28/12 1949 A 44 b	27/10 1950 A 56	2/12 1950 A 73	28/12 1951 A 141	1/2 1952 A 165	23/2 1952 A 211		10/10 1952 A 247		19/11 1952 A 286	7/1 1953 A 346	19/5 1953 A 381	20/7 1953 A 389	16/9 1953 A 392
SiO ₂	17,0	17,3	24,7	18,1	—	—	—		—		—	—	—	—	—
Al	0	0	0,25	0	0	0	0		0,05		—	—	—	—	—
Fe _{tot}	0,05	0,17	0	0,9	0,7	0,05	0,2		0,2		—	—	—	—	—
Mn	1,0	2,0	6,5	8,5	—	—	—		—		—	—	—	—	—
Mg	2,5	3,2	10,8	4,5	3,4	3,3	3,5		3,7		—	—	—	—	—
Na	7,3	12,1	19,3	11,3	11,3	11,0	10,6		9,8		9,9	8,9	8,0	11,7	11,0
K	2,7	3,5	2,3	7,4	5,4	3,3	3,3		2,8		1,2	1,7	3,0	4,2	3,2
Ca	36,0	40,0	113,0	90,5	90,0	80,5	73,5		113,5		63,2	70,0	68,0	71,5	77,0
O ₂	1,3	1,2	—	1,2	1,2	1,8	0,15		0,4		1,6	3,4	0,4	0,7	0,9
pH	6,3	7,2	8,1	7,0	7,0	7,3	7,0		7,4		6,9	6,8	7,4	7,1	6,9
$\kappa: 10^{-6}$	377	378	395	422	440	433	410		427		420	366	370	420	—
Ytvatten Oberflächenwasser			27/10 1950 A 57		28/12 1951 A 142	1/2 1952 A 166	23/2 1952 A 212	21/3 1952 A 222	10/10 1952 A 248	10/10 1952 A 249	19/11 1952 A 285		19/5 1953 A 382	20/7 1953 A 390	16/9 1953 A 393
SiO ₂			8,9		2,5	—	—	—	—	—	—		—	—	—
Al			0,15		0	0,21	0,12	0,5	0,4	0,6	—		—	—	—
Fe _{tot}			0,1		0,2	—	0,1	0,3	0,3	0,3	—		—	—	—
Mn			0		0,1	0,1	0	0,05	—	—	—		—	—	—
Mg			0,8		1,5	2,3	1,4	0,6	—	—	—		—	—	—
Na			7,5		7,2	7,4	8,0	8,0	8,3	9,9	7,4		5,8	8,7	8,0
K			0,4		0,4	0,9	1,3	1,7	2,5	0,5	0,4		2,5	0,6	0,8
Ca			13,0		11,0	12,0	20,0	31,0	13,8	13,0	7,4		14,1	13,3	9,9
O ₂			2,0		1,8	2,1	0,7	0,8	1,8	2,6	2,0		0,5	0,9	1,1
pH			7,2		7,0	7,1	7,2	7,0	6,8	6,6	7,1		6,8	6,9	7,0
$\kappa: 10^{-6}$			105		110	100	124	206	116	127	61		87	107	—

Tabell 17. Yt- och grundvattenanalyser å lokalgrupp XIX (mg/lit).
Oberflächen- und Grundwasseranalysen der Lokalgruppe XIX.

Grundvatten Grundwasser	19/10 1949 A 40	2/12 1950 A 72	28/12 1950 A 80	23/1 1951 A 93	
SiO ₂	16,0	16,6	18,2	22,3	
Al	0,2	0,02	0,01	0,02	
Fe ²⁺	0,2	0,02	0	0	
Fe ³⁺	0,1	0	0,3	0,2	
Mn	0,0	2,3	0	0	
Mg	4,0	3,1	4,2	4,1	
Na	8,5	10,0	11,3	10,2	
K	3,5	3,7	8,0	7,1	
Ca	83,5	83,5	62,1	73,5	
O ₂	3,2	4,2	2,8	1,9	
pH	7,5	7,9	8,7	8,0	
$\kappa : 10^{-6}$	377	405	422	410	
Ytvatten Oberflächenwasser		2/12 1950 A 75		23/1 1951 A 88	17/4 1951 A 97
SiO ₂		8,2		14,2	12,1
Al		0,5		0,7	0,2
Fe ²⁺		0		0,1	0,2
Fe ³⁺		0,3		0,4	0,2
Mn		0		0	0
Mg		2,1		2,0	1,9
Na		3,9		4,2	5,0
K		1,1		2,1	0,8
Ca		9,2		11,0	7,0
Cl		—		3,2	3,1
O ₂		0,2		1,1	0,05
pH		7,0		7,3	6,3
$\kappa : 10^{-6}$		90		97	65

fintlig i grundvattnet men förekommer i tämligen höga koncentrationer i ytvattnet. Visserligen förekommer kalium i höga halter i ytvattnet men kaliumhalten i grundvattnet är än högre. Relativt sett äro kaliumförhållandena således likartade inom de båda försöksområdena.

Analyserna 248 och 249 belysa ytvattnets egenskaper ganska väl. Prov 248 togs i en helt liten sänka strax intill provtagningsröret, medan 249 utgöres av ytvatten ca 12 m därifrån, uppsamlat i en försumpning, som emottager ytvatten från ett stort kringliggande område. Överensstämmelserna i analysvärdena äro goda. De bägge analyserna visa dock att K^+ -halten i analys 248 är hög men dess aluminiumhalt lägre än i analys 249, som i stället har en låg kaliumhalt. Detta är en egenskap hos ytvattnet, som är av visst intresse. Omedelbart efter ett regn erhålles i ytvatten, som fyller ut små-sänkor av begränsad omfattning, en hög K^+ -halt, som emellertid efter fortsatt regnande snabbt minskas starkt, och man erhåller en betydligt lägre koncentration, närmast jämförbar med analys 249.

Lokal 211 provtogs då barmarken var tjälad till c:a 35 cm djup. Av allt att döma synes endast syrehalten vara beroende av detta liksom av årstiden över huvud. Det är att märka att fr. o. m. analys 56 ha permanenta rör använts, men trots detta uppvisa analyserna 41 och 44 samma koncentrationer. Dessa äro likartade med de övriga analyserna inom lokalgrupp XVIII. Den kvartära lagerföljden och de hydrologiska förhållandena för lokal XVIII och XIX äro i huvudsak lika, och analyserna äro också tämligen överensstämmande. Dock förekommer inom den sistnämnda lokalen aldrig så höga manganhalter och kaliumhalter som inom lokalgrupp XVIII. Skillnaderna äro stora i detta fall även i analyser tagna samma dag (exempelvis analyserna 72 och 73). De höga manganhalterna torde vara unika då de icke erhållits i några andra vattenanalyser. Orsaken kan eventuellt tänkas vara en tillfällig anrikning i sumpmarken strax nedanför de båda lokalgrupperna. Att höga manganhalter icke förekomma inom de båda lokalerna måste bero på att lokal XIX ligger nära sumpmarken, varifrån en viss infiltration under högvattenperioder kan tänkas ske.

Lokal XX, tab. 18, ger vanligtvis med lätthet tämligen rikligt med grundvatten, vilket tyder på att provsonden nått någon sand- eller gruslins. Förmodligen är vattnet tämligen rörligt trots låg syrehalt.

Lokalgrupp XX.

Barrblandbestånd, mer eller mindre överslutet. Lokalen ligger på en terrass, som av allt att döma utjämnats av havet. Lätt att få vatten den lerig-steniga moränen,¹⁾ vilket tyder på att grundvattnet rinner i något sand- eller grushaltigt lager. Markprofilen är närmast en brunjord.

Buskskikt: Hassel, ask, vinbär, bentry e.

Fältskikt: *Anemone Hepatica* s, *Agrostis tenuis* s, *Pteridium aquilinum* t, *Ramischia secunda* t, *Fragaria vesca* t, *Oxalis acetosella* t, *Prunella vulgaris* t, *Deschampsia flexuosa* t, *Geum rivale* e, *Vicia silvatica* e, *Milium effusum* e, *Geranium silvaticum* e, *Potentilla erecta* e, *Ribes alpinum* e, *Sanicula europaea* e.

Bottenskikt: *Mnium* sp. r, *Rhytiadelphus triquetrus* r, *Hylocomium splendens* s, *Pleurozium Schreberi* t, *Dicranum* sp.

Lokalens analyser uppvisa de högsta medelvärdena av magnesium, men dock icke så höga maximivärden som analys 56 (10.8 mg/lit.) i lokalgrupp XVIII. I lokalgrupp XX skönjes en starkare koncentration av de olika jonslagen både sommar- och vintertid.

¹⁾ Mekanisk analys nr 3 tab. 50.

Tabell 18. Yt- och grundvattenanalyser å lokalgrupp XX (mg/l).

Oberflächen- und Grundwasseranalysen der Lokalgruppe XX.

Grundvatten Grundwasser	1/12 1950 A 75	23/12 1950 A 79	23/1 1951 A 84	23/1 1951 A 87	19/3 1951 A 93	17/4 1951 A 94	1/2 1952 A 167	23/2 1952 A 177	21/3 1952 A 220	9/5 1952 A 232	19/11 1952 A 289	6/1 1953 A 347	19/5 1953 A 383	16/9 1953 A 394
SiO ₂	8,9	12,3	11,1	11,0	9,5	9,3	—	—	—	—	—	—	—	—
Al	0,06	0,01	0,1	0,05	0,01	0,04	0	0	0	0	—	—	—	—
Fe ²⁺	0,01	0,1	0	0,2	0	0	< 0,05	0,1	0	0	0,1	1,0	0	—
Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	—
Mn	2,0	0	0,9	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mg	7,1	7,9	7,3	7,2	2,7	3,1	5,2	5,4	4,0	3,8	—	—	—	—
Na	9,4	11,0	7,6	7,4	6,4	7,8	9,0	10,4	8,2	8,7	10,0	—	7,0	11,1
K	6,1	3,8	1,6	1,6	0,6	1,8	2,6	26	2,3	1,7	2,2	—	2,6	3,0
Ca	123,1	128,9	124,8	123,3	57,5	56,0	85,0	89,0	75,0	76,9	132,0	90,0	110,0	107,0
Cl	—	—	—	9,2	6,6	9,4	—	—	—	—	—	—	—	—
O ₂	0,6	0,5	0,4	0,4	0,05	0,3	0,2	1,5	1,1	1,0	1,6	2,5	0,9	—
pH	6,8	7,2	7,1	6,9	7,2	7,1	7,2	7,2	7,0	6,9	7,1	7,2	6,9	7,3
$\kappa : 10^{-6}$	568	648	540	540	320	340	506	505	409	379	520	486	489	—
Ytvatten Oberflächenwasser	1/12 1950 A 74		23/1 1951 A 84 B			17/4 1951 A 95	1/2 1952 A 167B		21/3 1952 A 220B					
SiO ₂	8,8		7,3			10,9	—		—					
Al	0,4		0,3			0,3	0,4		0,4					
Fe ²⁺	0		0			0	0		—					
Fe ³⁺	0,2		0,2			0,01	0		—					
Mn	0,2		0,3			0	—		—					
Mg	1,3		1,4			1,6	1,5		1,0					
Na	3,5		4,8			4,6	3,9		3,8					
K	1,0		1,3			1,1	1,5		0,9					
Ca	12,2		10,2			7,0	10,1		8,1					
O ₂	1,4		1,3			1,2	2,1		1,4					
pH	7,0		7,1			6,4	6,5		6,9					
$\kappa : 10^{-6}$	82		78			60	70		65					

Tabell 19. Yt- och grundvattenanalyser från lokalgrupp XXI (mg/l).
Oberflächen- und Grundwasseranalysen der Lokalgruppe XXI.

Grundvatten Grundwasser	2/12 1950 A 76	28/12 1950 A 82	23/1 1951 A 85	Ytvatten Oberflächen- wasser	2/12 1950 A 77	28/12 1950 A 83	23/1 1950 A 86
SiO ₂		8.5		SiO ₂	13.0	8.9	9.0
Al	0.3	0.1	0.1	Al	0.2	0.3	0.1
Fe ²⁺	0.2	0.8	0.3	Fe ²⁺	0.3	0.5	0.2
Fe ³⁺	0	0	0.01	Fe ³⁺	0	0	0.01
Mn	0	0	0	Mn	0	0	0
Mg	2.6	4.3	4.3	Mg	5.6	4.7	5.2
Na	7.2	10.2	6.4	Na	24.0	5.2	6.8
K	2.8	2.7	1.8	K	4.1	2.1-1.3	1.3
Ca	68.0	113.0	111.7	Ca	43.0	71.5	88.6
O ₂	1.8	1.1	1.8	O ₂	1.9	2.1	1.1
pH	7.0	7.2	7.9	pH	6.8	7.0	7.7
κ:10 ⁻⁶	311	486	486	κ:10 ⁻⁶	329	324	405

Yt- och grundvattnet äro tämligen likartade inom lokal XXI, som ligger i ett alsnår alldeles nere invid en vik av Östersjön. De höga magnesium- och natriumhalterna tyda klart på havsvattnets inverkan. En blandning av havs- och grundvatten erhålles även i en brunnsvattenanalys från lokal XXIX (tabell 20), där kalciumhalten är 146,5 mg/liter och natriumhalten 23.5 mg/liter. Under högvattenperioder når Östersjön upp över lokal XXI.

Lokal XXI

Lokalen ligger på till största delen nedsvallat sandigt grus mellan landsvägen och havet. Provpunkten ligger i ett alsnår c:a 10 à 12 meter från den fria vattenytan. Vid högt vattenstånd täckes lokalen helt av Östersjöns vatten. Vattenproven äro tagna på 1,4 meters djup där av analyserna att döma viss tillrinning sker uppfifrån den kalkrika moränen. Endast de viktigaste växterna inom lokalen äro antecknade.

Trädsikt: Björk, al.

Busksikt: Al (klibb-).

Fältsikt: *Filipendula Ulmaria* s, *Briza media* s, *Alopecurus ventricosus* s, *Deschampsia flexuosa* s, *Milium effusum* t, *Centaurea Jacea* t, *Galium palustre* t, *Agrostis stolonifera* t, *Sieglingia decumbens* t, *Juncus articulatus* e, *Deschampsia caespitosa* e, *Erythraea vulgaris* e, *Potentilla erecta* e.

Höga ytvattenhalter erhållas även inom fastmarker. Sålunda erhålles å lokalgrupp XXII (tab. 21) en med grundvattnet fullt jämförbar elektrolythalt i analys 78. Detta ytvatten togs under en 2 cm tjock isskorpa. Ett ytvatten som således kan koncentreras i ytan och får ligga utan påfyll-

Tabell 20. Yt- och grundvattenanalyser (mg/l).
Oberflächen- und Grundwasseranalysen.

	Lokal XXIII		Lokal XXVI	Lokal XXVII	Lokal XXVIII	Lokal XXIX	Lokal XXX
	Ytvatten Oberflächen- vatten		Grundvatten Grundwasser	Grundvatten Grundwasser	Ytvatten Oberflächen- vatten	Grund- vatten Grundwasser	Grund- vatten Grundwasser
	13/11 1949 A 44 a	13/11 1949 A 45	12/11 1949 A 42	12/11 1949 A 43	13/11 1949 A 46	13/11 1949 A 47	17/4 1951 A 98
SiO ₂	90	12,4	22,5	21,2	25,5	11,2	7,2
Al	0	0	0,2	0,2	0,3	0	0,1
Fe ³⁺	0,02	0,01	0,1	0,3	>4,0	0,3	0,2
Mn	0	2,0	2,0	0	0	2,3	0,2
Mg	3,7	3,8	2,8	2,9	3,0	8,2	4,8
Na	6—10	7,4	9,5	11,5	3,7	23,5	22,1
K	3,4	2,8	1,3	1,8	3,1	8,5	2,0
Ca	40,0	85,3	51,5	45,0	44,5	146,5	63,0
O ₂	0,8	1,1	1,9	2,1	1,2	1,3	2,4
pH	7,3	7,1	7,0	6,8	6,8	7,0	7,5
$\kappa \cdot 10^{-6}$	421	403	333	384	391	462	351

Tabell 21. Yt- och grundvattenanalyser från lokalgrupp XXII (mg/l).
Oberflächen- und Grundwasseranalysen der Lokalgruppe XXII.

Grundvatten Grundwasser	1/12 1950 A 74	17/4 1951 A 96 a	Ytvatten Oberflächen- vatten	1/12 1950 A 78	17/4 1951 A 96 b
SiO ₂	12,8	9,2	SiO ₂	14,4	5,7
Al	0,2	0	Al	0,3	0,2
Fe ²⁺	0,1	0,1	Fe ³⁺	0	0
Fe ³⁺	0	0	Mn	0	0,2
Mn	0	0,2	Mg	3,2	1,4
Mg	3,0	3,4	Na	5,5	3,2
Na	6,5	5,9	K	2,0	1,0
K	3,7	3,8	Ca	59,0	12,5
Ca	73,5	89,9	Cl	1,9	2,9
Cl	4,5	6,8	O ₂	1,5	0,9
O ₂	0,8	0,9	pH	6,6—8,5	6,9
pH	6,5—8,5	7,0	$\kappa \cdot 10^{-6}$	304	88
$\kappa \cdot 10^{-6}$	318	390			

ning ger efter en tid ett med grundvattnet fullt likartat vatten. Härefter synes man erhålla en förklaring till att man inom den kalkspathaltiga moränen icke erhåller lika höga halter av de olika växtnäringssämnena i yt- och grundvattnet, vilket i stort var förhållandet inom Bjurforsområdet. Tydligt förklarar den lerig-grusiga moränen i Grenholmenområdet slamma igen ytskikten med sina finaste partiklar. En vattensamling i ytan tränger därför icke lika snabbt ner i sådana marker, som inom den lerfattiga, ofta svallade sandig-moiga moränen i Bjurfors. Därför får man ett ytvatten, som under en längre tid (än vad som gällde inom Bjurforsområdet) förblir opåverkat av underliggande mineraljord eller av ett högt stående grundvatten.

Lokalgrupp XXII

Lokalen ligger direkt under en gran i ett så gott som fullslutet barrblandbestånd. Ytstenig, osvallad lerig-sandig morän. Brunjord.

Fältskikt: *Rubus saxatilis* r, *Oxalis acetosella* r, *Anemone Hepatica* s, *Viola Riviniana* s, *Pteridium aquilinum* t, *Geum rivale* e, *Vaccinium Vitis-idaea* e, *Lonicera xylosteum* e.

Bottenskikt: *Rhytidiadelphus triquetrus* y.

För att undersöka ytvattnets förändringar efter en snabb infiltration, analyserades grundvattnet inom lokalerna XXVI och XXVII (tab. 20). Den förstnämnda lokalen ligger i en markant ytstenig morän medan den sistnämnda erhåller sitt grundvatten från en starkt sluttande häll strax ovanför lokalen i fråga. Såsom framgår av analyserna 42 och 43 är elektrolythalten hög trots en snabb perkolering.

Lokal XXVI

Lokalen ligger i kanten av ett hygge med restgran i 25—30-årsåldern. Området ligger exponerat mot sydväst och jordarten består av en ytstenig, obetydligt svallad, grusig-sandig morän. Brunjord.

Fältskikt: *Anemone Hepatica* r, *Oxalis acetosella* r, *Fragaria vesca* r, *Pteridium aquilinum* s, *Vicia silvatica* s, *Agrostis tenuis* s, *Deschampsia flexuosa* s, *Anemone nemorosa* s, *Rubus saxatilis* e, *Veronica chamaedrys* e, *Majanthemum bifolium* e, *Vaccinium Vitis-idaea* e, *Vaccinium Myrtillus* e, *Galium verum* e, *Geum rivale* e,

Bottenskikt: *Pleurozium Schreberi* r, *Rhytidiadelphus triquetrus* r, *Hylocomium splendens* s.

Lokal XXVII

Nästan fullslutet äldre barrblandbestånd nedanför kalspolad häll. Ytstenig, lerig-sandig morän (analys 14, tab. 50). Svallningen är iakttagbar men endast helt svagt i ytan. Brunjord.

Buskskikt: Hassel, rönn, ek e.

Fältskikt: *Vaccinium Vitis-idaea* s, *Vaccinium Myrtillus* s, *Deschampsia flexuosa* s, *Polypodium vulgare* t, *Fragaria vesca* t, *Oxalis acetosella* t, *Anemone Hepatica* t, *Milium effusum* t, *Trientalis europaea* e, *Veronica chamaedrys* e, *Geranium silvaticum* e, *Ramischia secunda* e, *Viola Riviniana* e.

Bottenskikt: *Hylocomium splendens* y, *Rhytidiadelphus triquetrus* s, *Pleurozium Schreberi* t, *Mnium* sp. t, *Rhodobryum roseum* e.

Som jämförelseobjekt till de övriga lokalerna inom Grenholmenområdet valdes även en löväng, där analys 46 utgöres av ytvatten och analys 98 av grundvatten (se tab. 20). Som synes äro katjonkoncentrationerna i de båda vattnen lika höga som i de tidigare anförda analyserna från detta kambrosilurpåverkade område. Att vegetationstypen är en löväng påverkar sålunda icke analysresultaten.

Lokal XXVIII och XXX

Löväng med främst ek och hassel. Nedanstående växtförteckning är utförd på senhösten 1953, varför den delvis kan vara ofullständig. Markprofilen är brunjord med mull. Jordarten är ytstenig (stundom hårt svallad) lerig morän.

Fältskikt: *Centaurea Jacea*, *Knautia arvense*, *Primula veris*, *Calamagrostis arundinacea*, *Geranium silvaticum*, *Lathyrus montanus*, *Galium boreale*, *Solidago Virgaurea*, *Trifolium montanum*, *Trifolium pratense*, *Tussilago farfara*, *Vicia cracca*, *Melampyrum nemorosum*, *Geranium sanguineum*, *Milium effusum*, *Satureja vulgaris*, *Selinum carvifolia*, *Carum carvi*, *Pimpinella saxifraga*, *Viola Riviniana*, *Veronica chamaedrys*, *Anthriscus silvestris*, *Briza media*, *Dactylis glomerata*.

Bottenskikt: *Rhytidiadelphus squarrosus*, *Hylocomium splendens*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Pleurozium Schreberi*, *Dicranum sp.*

Vi erhålla sålunda ett tämligen likartat grundvatten inom hela Grenholmenområdet, där ytvattnet till en början kan erhålla ett ända till fem gånger lägre κ -värde. Vanligast är emellertid att ytvattnet blott är 3 ggr mera utspätt än grundvattnet. Inom Bjurforsområdet kunde ytvattnets ledningsförmåga växla under extrema förhållanden mellan $28 \cdot 10^{-6}$ — $98 \cdot 10^{-6}$. I detta fall skulle s. a. s. skillnaderna vara lika stora som inom Grenholmenområdet. Många förhållanden synas uppvisa en anmärkningsvärd samstämmighet mellan de båda områdenas hydrologiska egenskaper. Vi kunna nämna jonbytesjämvikten, en tendens till ökad koncentration i såväl grund- som ytvattnet sommar- och vintertid, höga aluminiumhalter i ytvattnet, förhållandet mellan två- och trevärt järn i yt- resp. grundvattnet, vidare kan nämnas såsom väsentliga likheter mellan de båda områdenas hydrologi lättheten att få vatten även efter förhållandevis små nederbörds mängder, låg vattenhalt i jorden strax under humustäcket osv. Dessutom har en snabb infiltration erhållits även inom Grenholmenområdet i fall då man undersökt sådana lokaler som uppvisade ytstenighet, hållar m. m., dvs. lokaler liknande motsvarande inom Bjurforsområdet.

Som slutsats om Grenholmenområdet må framhållas att såväl grundvattnet som ytvattnet ha betydligt högre näringsämneshalter än motsvarande vatten inom Bjurforsområdet. Detta beror på den kambrosilurpåverkade moränen inom Grenholmenområdet. En sådan samstämmighet i yt- och grundvattnets jonkoncentrationer, som snabbt uppstår inom Bjurforsområdet är icke lika påtaglig inom Grenholmenområdet, beroen-

de på att ytvattnet perkolerar långsammare i den kambrosilurpåverkade jordarten. Men förblir ytvattnet stående en tid ovan markytan, erhåller det en ledningsförmåga som är lika hög som i grundvattnet. Dessutom har en mycket snabb infiltration utmed hållar iakttagits inom Grenholmenområdet. Ytvattnet som når grundvattnet utmed dylika vattenvägar får — liksom inom Bjurforsområdet — katjonhalter, som fullt överensstämmer med grundvattnets halter. Det torde sålunda vara klarlagt att nederbördens nedträngande i marken, dess absorberande av joner, dess infiltrationsvägar etc. inom Grenholmen äro i stora drag fullt överensstämmande med motsvarande inom Bjurforsområdet.

c. Övriga områden

Som jämförelseobjekt till Grenholmen- och framför allt Bjurforsområdet ha även en del andra lokaler varit föremål för grundvattenundersökningar. Dessa ha varit följande:

1. Tönnersjöhedens försökspark, Hallands län.
2. Mölna försöksfält (Vaggeryd), Jönköpings län.
3. Högantorp (Södertörn), Sthlms län.
4. Hillarp (Norra Åkarps förs.) Kristianstads län.

Samtliga dessa områden ha grundvatten, vars jonkoncentrationer i stora drag överensstämmer med Bjurforsområdets. Tönnersjöhedens försökspark skall närmare behandlas i kap. IV: 5 och undersökningarna därstädes avse närmast markprofilens inverkan på grundvattnet.

Mölna-försöken uppvisa karakteristiska grundvattentyper, som närmast äro jämförbara med Bjurforsområdets. För grundvattenundersökningarna i Mölna redogöres lämpligast i samband med gödslingsförsöken därstädes, se kap. V: 8.

Grundvattenundersökningarna invid Högantorps gård utfördes 1950—52. Dessa avsågo närmast att studera den jotniska sandstens inverkan på moränernas grundvatten. Den i små fläckar uppträdande sen- och postglaciala lerans höga katjonutbyteskapacitet medförde emellertid oväntat höga jonkoncentrationer, varför lokalen närmast visar huru låga lerhalter i ett grovt svallgrus från en på jotnisk sandsten rik gnejsmorän förmå åstadkomma höga växtnäringshalter i grundvattnet.

Tabell 22 berör 3 lokaler, samtliga belägna i en och samma sluttning ner mot Mälaren. Lokal A (analyserna 90, 91, 102 och 119) består helt av svallgrus. Lokal B (analyserna 109, 110, 111, 112 och 136) utgöres visserligen av ett svallgruslager (0—40 cm) men därunder ett lerigt-sandigt lager som på 80 cm djup övergår i ett stenigt grus och därunder finnes sandig morän. Lokal C (analyserna 137 och 261) ligger c:a 12 meter nedanför de båda övriga lokalerna, som blott ligga 7 meter ifrån varandra. Lokal A

Tabell 22. Grundvattenanalyser från Högantorp, Södertörn (mg/l).

Grundwasseranalysen von Högantorp, Södertörn.

Grund- wasser analysen (n:r)	Datum	SiO ₂	Al	Fe _{tot}	Mg	Na	K	Ca	O ₂	pH	$\kappa \cdot 10^{-6}$	Djup	Lokal
90	15/10 -50	15,7	0,5	—	3,5	5,0	0,8	11,0	2,8	7,1	113	1,1	A
91	27/11 -50	18,1	0,3	0	2,8	5,4	0,6	11,0	3,1	6,8	110	1,1	A
102	24/1 -51	6,5	0,4	0,1	3,0	5,8	0,5	11,6	1,5	6,6	112	1,1	A
119	25/6 -51	12,5	0,6	0,1	3,7	4,4	0,6	11,9	1,8	6,8	116	1,1	A
109	23/2 -51	14,0	0,8	0	3,8	5,1	0,8	11,3	2,3	6,9	115	0,8	B
110	23/2 -51	12,4	0,8	—	3,8	5,7	0,7	11,0	1,9	6,8	120	0,9	B
111	4/4 -51	19,4	0	0,2	3,3	5,1	0,8	11,2	2,6	7,1	117	0,9	B
112	7/4 -51	10,5	0,7	—	3,6	5,0	0,7	11,3	1,2	7,1	118	0,8	B
136	20/10 -51	10,2	0,3	0	2,1	8,5	0,2	12,5	2,4	6,7	110	0,8	B
137	1/2 -52	16,7	0,4	0,2	3,4	5,0	0,5	10,8	2,5	6,5	109	0,5	C
261	21/10 -52	14,1	0,6	—	2,7	3,8	0,7	12,1	1,3	6,6	123	0,5	C

och B omfattar till huvudsaklig del grundvatten, lokal C ytvatten. Trots det senglaciala havets bearbetning av de olika kvartära avlagringarna i den här undersökta sluttningen äro analysvärdena tämligen likartade. Av allt att döma torde övergången mellan yt- och grundvatten vara ganska diffus. Endast på lokal C stod vattenståndet ända upp i markytan (prov togs på 0,5 m djup). I det grova materialet sker infiltrationen mycket snabbt, och jag anser att det är det silande grundvattnet som har undersökts — m. a. o. ett vatten som är fullt jämförbart med det silande vatten som förefinnes i sluttningen inom Bjurforsområdet ovan den osvallade moränen (se kap. IV: 3). I Högantorpsförsöken motsvaras den osvallade moränen av ett lerigt-sandigt lager, som på 80 cm djup övergår i den tämligen hårt packade moränen, som trots ihärdiga sugningar ej lämnade något grundvatten ifrån sig.

Den högst heterogena lagerföljden gjorde att förf. underlät att utföra en närmare bearbetning av denna lokalgrupp. En intressant sak motiverar emellertid analysernas publicering, nämligen den ungefär lika höga halten av metallkationer under två år i vatten, som måste bestå av såväl yt- som grundvatten. (Jfr kap. IV: 4: a, Bjurforsförsöken). Sammanfattningsvis skulle man vilja framhålla att denna lokal bekräftar i mycket hög grad det förhållandet att ytstenigheten medför en snabb infiltration samtidigt som en låg lerhalt (i markytan) snabbt ger en hög ledningsförmåga även hos ytvattnet. Med andra ord, vi få här även en bekräftelse på försöksresultaten på Grenholmen (kap. IV:4:b).

En annan lokal där man erhåller nästan lika konstanta näringshalter i grundvattnet utgöres av Hillarp (se tab. 23).

Tabell 23. Grundvattenanalyser från Hillarp, Krist. län (mg/l).
Grundwasseranalysen von Hillarp, Krist. län.

Lokal B	13/11 1951 A 108	22/11 1951 A 123	2/12 1951 A 124	19/1 1952 A 164	2/3 1952 A 219	16/3 1952 A 223	17/10 1952 A 225	16/11 1952 A 294	4/12 1952 A 323
Al	0,12	0,03	0,03	0,03	0,0	—	0,02	—	—
Fe ²⁺	1,1	0,01	0,01	<0,1	0,2	—	—	—	—
Fe ³⁺	0	0	0	0	0	—	0,1	—	—
Mn	0	0	0	0,2	0,1	—	—	—	—
Mg	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	—	1,2	—	—
Na	4,7	10,0	9,3	8,6	7,6	9,1	10,2	7,5	7,6
K	0,5	0,9	0,7	0,7	0,3	0,5	0,7	0,4	0,8
Ca	2,0	3,6	3,8	2,8	2,3	2,1	2,2	2,2	1,7
O ₂	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,9	0,8	0,9	0,1
$\kappa : 10^{-6}$	72	75	88	143	110	120	76	57	65
Djup i m	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4

Lokal A	2/12 1951 A 125	2/12 1951 A 126	19/1 1952 A 163	9/2 1952 A 170	2/3 1952 A 218	16/3 1952 A 224	10/4 1952 A 231	14/9 1952 A 244	17/10 1952 A 254	16/11 1952 A 295	4/12 1942 A 322
Al	0,07	0,2	0,4	0,4	0,2	0,4	0,7	0,5	0,5	—	—
Fe ²⁺	0,01	0,1	0,1	>0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	—	—
Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	—	—
Mn	0,1	0,2	0	0	—	—	—	—	—	—	—
Mg	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	1,0	0,7	0,4	—	—
Na	9,3	9,8	7,8	6,3	7,0	7,0	7,5	6,7	8,8	6,5	7,8
K	0,2	0,3	0	0	0	0	0,4	1,0	0,3	0,3	0,8
Ca	0,6	0,6	0,7	0,2	0,2	0,7	0,2	0,4	0,1	0,2	0,2
O ₂	0,3	2,1	0,8	0,8	1,6	0,2	0,9	0,9	0,8	2,1	0,8
$\kappa : 10^{-6}$	57	48	45	51	53	47	53	59	58	57	62
Djup i m	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Lokalbeskrivning till Hillarpsförsöken

Lokal A ligger på en moränudde som långsamt sluttar ned mot en sumpmark. Moränen är en starkt ytstenig, sandig typ. Markprofilen är järnpodsol med svagt utbildat blekjordslager. Provdjupet 1,0 meter. Slammingsanalys av moränen, se tab. 50 nr 43.

Trädsiktet består av mycket glea »varg»-tallbestånd med en del björkar och enstaka unga ekar.

Busksiktet består av enstaka enar.

Fältsiktet: *Vaccinium Vitis-idaea* y, *Vaccinium Myrtillus* y, *Vaccinium uliginosum* e, *Lin-*

naea borealis e, *Vaccinium Oxycoccus* e, *Calluna vulgaris* t, *Majanthemum bifolium* e, *Empetrum nigrum* t, *Deschampsia flexuosa* t.

Bottenskiktet: *Sphagnum* sp. fläckvis s, *Dicranum rugosum* r, *Hylocomium splendens* r, *Pleurozium Schreberi* s.

Lokal B ligger nere vid sumpmarken. 0–30 cm moig mellansand, därunder sandig morän. Brunjordsartad markprofil. Provdjup 1,4 meter.

Enstaka björkar, helt små; en och tall synnerligen spridda, allt bildande ett buskskikt tillsammans med *Salix cinerea* r.

Fältskiktet: *Vaccinium uliginosum* s, *Calluna vulgaris* e, *Potentilla erecta* t, *Nardus stricta* r, *Juncus conglomeratus* r, *Carex panicea* e.

Bottenskiktet: *Polytrichum commune* r, *Sphagnum* sp. r.

Lokalgruppen ligger på en moränudde varifrån grundvattnet rinner ner i en sumpmark. Den höga syrehalten och den lägre ledningsförmågan i grundvattnet skiljer lokal A från lokal B. Den förra har rörligt grundvatten, den senare har stillastående med reducerande miljö, där vittringen är intensivare. Visserligen är avdunstningen större i norra Skåne än inom Bjurforsområdet men jonkoncentrationerna äro dock så pass stora, att man icke enbart får anse avdunstningen vara det väsentliga för att åstadkomma ett κ -värde på $143 \cdot 10^{-6}$ (analys 164). Höga värden erhöles även i analyserna 219 och 223. Dessa tre analyser äro tagna resp. 19/1, 2/3 och 16/3, dvs. under en tid på året då tillförseln av smältvatten eller nederbördsvatten är liten. De övriga analyserna äro tagna vid ungefär samma tidpunkt under höstarna under två på varandra följande år. Förf. har icke tidigare erhållit så stora olikheter i grundvattnet i sumpmarker med hänsyn till årstiden. Sumpmarken erhåller under övriga delar av året en tämligen kontinuerlig tillförsel av vatten, varför ett upphörande av denna vintertid genast medför koncentrationsförändringar, vilket icke gäller i samma grad för friskmarksjordar. Sammanfattningsvis gäller för Hillarpsområdet, att den många gånger tidigare iakttagna jonbytesjämvikten i grundvattnet förefinnes även här. Detta gäller framför allt inom friskmarkslokalen A. Inom sumpmarken får man vintertid en tydlig höjning av metallkatjonhalten. För övrigt äro koncentrationerna högre här än inom Bjurforsområdet, men något lägre än i ytvattnet på Grenholmen. Hillarpsområdet är den sydligast belägna lokalen, som förf. undersökt.

5. Grundvattnets kemiska sammansättning inom mineralogiskt olika markmiljö

Trots att dessa frågor redan behandlats (se TROEDSSON, 1952) skola en del hithörande frågor här beröras. Grenholmens urbergsmorän är till en låg procent uppblandad med kambrosilurmaterial. Grönstenshalten är stor (upp till 20 %), men det är naturligtvis ej enbart därav som den höga katjonhalten i grundvattnet betingas. Motsvarande grönstensfrekvenser iaktogs även inom Bjurforsområdet (lokalgrupp V). Men där är ledningsförmågan mycket lägre, maximalt är den $70 \cdot 10^{-6}$. Grenholmen utgör sålunda ett typfall, där en låg procent kambrosilurmaterial i en eljest stenig, stundom grusig urbergsmorän förmår att mycket starkt prägla jordarten ur ekologisk synpunkt samt giva grundvattnet höga halter av olika näringsämnen.

På samma sätt ger smärre lerlager, som ligga under grovt svallgrus, upphov till höga katjonkoncentrationer som t. ex. vid Högantorp. Den kvartsitiska, jotniska sandstenen, som finnes rikligt inom detta område, synes trots sin dominans ej förmå karakterisera grundvattnet på samma sätt som exempelvis dalasandstenen (TROEDSSON, 1952) med sin extremt låga ledningsförmåga ($\kappa = 16 \cdot 10^{-6}$).

I stora drag äro skillnaderna små mellan grundvattnets halter inom Mölnafältets isälvsediment ($\kappa = 42 \cdot 10^{-6}$) och Hillarpsområdets gnejsmorän ($\kappa = 45 \cdot 10^{-6}$) och Bjurforsområdets leptitgnejsmoräner (friskmarksjordar) ($\kappa = 32 \cdot 10^{-6}$). Dessa genomsnittliga κ -värden synas visserligen väl åtskilda, men ur analysmaterialet har det framgått att grundvattnet inom Bjurfors kan uppnå samma och t. o. m. högre κ -värden än inom Hillarp eller Mölna. Den geologiska miljön är sålunda stundom av ganska ringa betydelse för grundvattnets jonsammansättning. Man frågar sig också varför jordartens mineralogiska sammansättning icke spelar en större roll för grundvattnets jonkoncentration inom Högantorpområdet, då det leriga kambrosilurmaterialet helt dominerade grundvattnets halter inom Grenholmens moränområde? Glacialleran inom Högantorp (tab. 22) förmådde icke ge grundvattnet lika höga halter som Grenholmens grundvatten, trots att denna lera hämtat en stor del av sitt material från liknande kambrosiluriska avlagringar. Förklaringen till detta fenomen får ses i de hydrogeologiska förhållandena. Inom Högantorp sker en avrinning i ytan ovan på leran dvs. under svallgruset. I analogi härmed komma ytvattnets näringshalter inom Grenholmen icke att avvika så mycket från Högantorps grundvatten.

Inom Älvdalsåsens diabasmoräner få vi ej heller särskilt höga halter av växtnäringsämnen i grundvattnet. Enligt TROEDSSON (1952) var medeltalet för ledningsförmågan i diabasmorän $46 \cdot 10^{-6}$ medan en porfyrmorän hade värdet $31 \cdot 10^{-6}$.

O TAMM (1931) erhöi i järnpodsol å Kulbäcksliden ett grundvatten med värdet $36,4 \cdot 10^{-6}$. Någon skillnad förefinnes sålunda mellan de mineralogiskt olika jordarterna. Denna skillnad försvinner helt så snart ett grundvatten ansamlas i en sumpmark, eller då ytvatten blir stående en längre tid ovan markytan. Man vågar därför förmoda att träden och den övriga vegetationen, som stundom kunna synas påverkade av ett näringsrikt mineralogiskt underlag, icke få sitt överskott av näringsämnen enbart genom grundvattnet utan att den primära näringsstillförseln sker genom rötternas förmåga att direkt attackera markmineralen och rötternas utnyttjande av markvätskans näringshalter i de översta ytskikten. O. TAMM (1942) anser exempelvis att skogsträdens fosfatbehov tillfredsställes genom rotattackering av mineral. Förf. har här velat framhålla att det ej är ett relativt stillastående grundvatten som till huvudsaklig del förmedlar näringstransporten mellan jordarten och träden. I så fall borde större skillnader i katjonkoncentration erhållas i grundvattnen inom områden med stora mineralogiska avvikelser. Sådana avvikelser i det mineralogiska underlaget framträda ju vanligtvis tydligt i markboniteterna. Att grundvattnet spelar en

stor roll som växtnärlingsleverantör till skogsträden i sluttningar är självklart. Vatten som blir stående i ytan utan att tränga ner får efter en kort tid en hög jonhalt utan att detta behöver bero på avdunstning (jfr lokalgrupp XXII). Ett sådant vatten får närmast betraktas såsom ett sjunkvatten, dvs. ett vatten som på bred front tvingas sjunka genom marken och som alltid får en hög katjonhalt.

Av ovanstående principiella resonemang har det framgått att grundvattnet icke behöver framvisa stora olikheter i sina jonkoncentrationer till följd av det geologiska underlagets inverkan; dock kan man finna skillnader, och därtill fullt definierbara sådana. Det är dock tvivelaktigt om dessa skillnader äro avgörande för den högre bonitet som brukar förefinnas inom områden med t. ex diabasmorän, hyperitmorän osv. Orsaken till att grundvattnet icke erhåller avsevärt högre jonkoncentrationer inom exempelvis grönstensmoräner i jämförelse med leptitmoräner beror sannolikt på en mycket snabb transport genom kanaler, sprickor och andra naturliga dränledningar ned till grundvattnet.

6. Grundvattnets kemiska sammansättning inom olika jordmånstyper

Detta ämne har ovan delvis berörts. Dels ha exempel lämnats, där humus- och järnhumuspodsolens grundvatten undersökts och dels har järnpodsolens grundvatten analyserats. Dessutom har försök gjorts att studera grundvattnets kemiska sammansättning inom områden där växlingarna mellan dessa tvenne podsoltyper äro täta. O. TAMM har i ett flertal arbeten (1925, 1927, 1931) undersökt grundvattnet i olika markprofiler. Till huvudsaklig del är det endast syre och järn som har bestämts.

I ett fåtal analyser (O. TAMM 1931 s. 260—261) har även ett flertal metallkationer bestämts. Det är att märka att detta senare lilla analysmaterial har givit oss viktiga upplysningar om växtnärlingsämnenas förekomst i de olika jordmånstypernas grundvatten. Trots att mitt analysmaterial — som visserligen icke enbart avsett att belysa dessa förhållanden — är mycket större verifierar det på denna punkt helt riktigheten av O. TAMMs resultat. Utöver detta må endast framhållas, att de oxiderande och reducerande betingelser han vid olika tillfällen påvisat i järnpodsolvatten och humuspodsolvatten äro giltiga under hela året. Däremot uppvisar förf:s analyser icke lika höga syre-

Tabell 24. Grundvattnets ledningsförmåga inom olika markprofiler.

Die Leitungsfähigkeit des Grundwassers in verschiedenen Bodenprofilen.

Lokal	Jordart	Jordmånstyp	Ledningsförmåga	Antal analyser
			$\kappa_{20^{\circ}\text{C}} : 10^{-6}$	
Bjurfors	Leptitgnejsmorän	Järnpodsol	20 — 38	43
»	»	Humuspodsol	40 — 88	20
Grenholmen	Gnejsig urgranitberggrund med kambrosilurbergarter	Brunjord	310—640	45
Tönnersjöheden	Gnejs-morän	»	35 — 85	12

halter som O. TAMMS analyser, vilket i någon mån beror på årstiden för provtagningens utförande och även på valet av lokaler.

Jordmånstypens egenskaper spelar stundom en stor roll för grundvattnets kemiska sammansättning (O. TAMM 1925, 1931), dock må framhållas att den geologisk-mineralogiska faktorn kan vara av än större betydelse (jfr dock föregående kapitel), vilket framgår av ovanstående tabell, där ledningsförmågan i grundvatten från olika områden är angiven.

För övrigt må framhållas att Bjurforsområdets markprofiler äro synnerligen oregelbundet utbildade, varför ingående markprofilstudier först måste komma till utförande innan man vågar draga slutsatser om varje typs grundvatten. Endast huvudtyperna kunna med säkerhet urskiljas, och dessas grundvattenegenskaper har O. TAMM som tidigare nämnts redogjort för i ett flertal arbeten, låt vara ej inom Bjurfors.

KAP. V

Studier över sjunkvattnet

1. *Inledning.*

Studier över sjunkvattnets rörelser, dess omfattning i relation till nederbörden och dess kemiska sammansättning har sedan långa tider tillbaka bedrivits såväl i åkerjord som i skogsmark. De resultat som dessa undersökningar givit äro icke alltid reproducerbara på andra områden än just där de utförts. Olikheter i klimat, vegetationsutveckling, kulturella ingrepp, jordmånsprocessernas förlopp osv. äro alla orsaker till de utomordentliga svårigheter som föreligga för ett allmängiltigt utnyttjande av försöksresultaten. Härtill kommer att försöksmetodiken växlar, och att felkällorna icke alltid äro så påtagliga, att man behärskar deras inverkan på jonkoncentrationer, nederbördsmätning osv. Sjunkvattnets rörelser och egenskaper äro sålunda betingade av en hel mängd fysikaliska och kemiska förhållanden, som i sin tur äro beroende av botaniska, zoologiska m. fl. företeelser. Det är ännu så länge inte möjligt att på en gång taga hänsyn till alla dessa orsakssammanhang. Sjunkvattnets egenskaper ha visat sig mycket komplicerade att utreda och de försök som gjorts ha vanligen icke utmynnat i balanser för större områden utan inskränkts till helt små ytor på någon eller några kvadratmeter. Förf. har därför endast sökt utföra begränsad undersökning där sjunkvattnets samband med yt- och grundvattnet varit det väsentliga.

2. *Litteraturöversikt*

a. Metodik vid undersökningar av sjunkvattnets egenskaper

För studiet av sjunkvattnet har man använt dels lysimeterförsök, dels laboriemässiga perkoleringsförsök. De senare motsvara dock icke helt sjunkvattnets rörelser i fältet. Lysimeterförsöken visa däremot urlakningsförhållandena just betr. den observerade ytan. Variationerna mellan olika ytor äro emellertid stora; samstämmiga resultat ha mera sällan erhållits.

Redan tidigt insågs nödvändigheten av en invändningsfri uppsamlingsmetod för sjunkvattnet. I litteraturen finns ett mycket stort antal olika lysimetertyper beskrivna. Den första, som veterligt använts, konstruerades av DE LA HIRE redan 1688. Ett

märkesår i lysimeterutvecklingen var 1850, då WAY (1850) för första gången undersökte sjunkvattnets kemiska sammansättning. En mycket god sammanfattning av lysimeterforskningens utveckling har lämnats av KOHNKE, DREIBELBIS, DAVIDSSON (1940), varför anledning icke finnes att närmare gå in på de olika lysimetertyperna. Fortfarande äro emellertid lysimeterförsök tämligen kostsamma och en annan brist är att jorden vanligen rubbas från sitt ursprungliga läge, varvid de naturliga förutsättningarna för nederbördens perkolering icke fullt tillfredsställande klarläggas. En metod utan dessa olägenheter framlade dock redan tidigt EBERMAYER (1879, 1897), vilken var den förste, som använde lysimetrar i skogsmark, vars profiler med sina väl urskiljbara jordmånshorisonter det gällde att bevara så orörda som möjligt. Lysimetern applicerades därför utan grävningar uppifrån markytan. Den typ, som EBERMAYER ansåg vara oantastlig, gick ut på att gräva in tunnlar i en vertikal profilvägg och i dem samla upp sjunkvattnet. GEMMERLING (1922) och sedan JOFFE (1929, 1932) togo upp denna lysimetertyp igen. JOFFE fann därvid en synnerligen oregelbunden perkolering i markprofilens olika horisonter, vilket han tydde som om vattnet icke gick vertikalt ner i marken. Vi få längre fram tillfälle att återkomma till detta spörsmål. Den lysimeter, som jag använt mig av, är av samma konstruktion som JOFFES (1932).

Lysimetrar ha på senare år alltmer konstruerats på ett sådant sätt att marken får behålla sin ursprungliga lagring. Ur skoglig synpunkt är det dessutom önskvärt att man erhåller tillräckligt stora lysimetrar, så att sjunkvattnet kan studeras i ett, om än litet, skogsbestånd. BAVES (1939) beskriver anläggningar av lysimeterförsök på 20 m² ytor med 2,5 m djup. På moränmark i vårt land vore det faktiskt önskvärt att ha ännu större lysimetrar. Numera förekomma (WEBER, 1953) även elektriskt registrerande lysimetrar, vilka medge ytterst noggranna registreringar av såväl nederbörd som infiltration.

I lysimeterforskningen har emellertid skogsmarkens genomsläpplighet för sjunkvattnet aldrig studerats i bestånd av olika åldrar. Följden har blivit alltför vittgående slutsatser ofta dragits av små isolerade försök.

I vårt eget land har STÅLFELT (1944) och v. FEILITZEN (1912) redovisat lysimeterförsök, den förra för skogsmark, den senare främst för mossjor. Dessa få försök förmå icke ge entydiga svar på frågan hur sjunkvattnet rör sig på vägen ner till grundvattnet. Den stora variationen i hittills erhållna värden vittnar om ett synnerligen oregelbundet sjunkningsförlopp, som måhända växlar från lokal till lokal. JOFFES (1932) förmodan om en icke vertikal rörelseriktning för sjunkvattnet är åtminstone betr. vår skogsmark sannolik. Man kan där tänka sig rotkanaler som dränledningar. Givetvis ha leror och andra som vattensediment bildade jordarter sina sjunkvattenbanor som kunna vara ett verkligt dränagesystem. Man kan därför förmoda att flera överensstämmelser finnas mellan sjunkvattnets rörelser i normal skogsmark och odlad jord. Det är sålunda betydelsefullt vid skogsmarksstudier att även taga del av lysimeterresultat från jordbruksforskningen, bland vilka man finner de äldsta som blivit mest grundläggande för uppfattningen om nederbördens infiltration i marken.

Tabell 25. *Lysimeterförsök vid Rothamsted 1870—1893.*

Lysimeterversuche bei Rothamsted 1870—1893.

	Nederbörd Regenmenge	Avrinning Ab rinnung			Avdunstning Verdunstung		
	Djup Tiefe	0,5 m	1,0 m	1,5 m	0,5 m	1,0 m	1,5 m
(GILBERT 1899)	1870—1890 ca 752 mm	47,5 %	50 %	44,9 %	52,5 %	50 %	55,1 %
(BIELER 1896)	1877—1893 ca 748 mm	49,5 %	53 %	49 %	50,5 %	47 %	51 %

b. Lysimeterförsök inom jordbruket

De mest berömda lysimeterförsöken äro de från Rothamsted, som påbörjades redan på 1870-talet. Dessa försök följdes under ett 30-tal år noggrannt av de berömda jordbrukskemisterna GILBERT och LAWES, och resulterade i ett flertal skrifter mellan 1880 och 1900. Emellertid lades dessa försök på mark som bestod av lerig knitmorän, varför de erhållna resultaten ej torde vara jämförbara med dem som skulle erhållits i våra skogsjordar. Det är dock mycket intressant att studera de totalsiffror som GILBERT (1899) anger över nederbörd, avdunstning och avrinning. Dessa värden anses på många håll ännu idag vara tämligen allmängiltiga (tab. 25).

WEAVER och CHRIST (1942) ha visat att en vegetation av olika sädesslag möjliggör en större nedrinning än ett naturligt växtsamhälle. Skogsmarkens vegetation (och humustäcke) skulle med andra ord äga en större förmåga att förhindra en infiltration av nederbördsvattnet, vilket enligt WEAVER och CHRIST resulterar i att avdunstningen från skogbevuxna ytor blir stor i relation till avdunstningen från åkrar. LOWDERMILK (1931) liksom MEGINNIS (1935) anser däremot att vegetationstäcket vid häftiga regn förmår successivt infiltrera vattnet till underliggande mineraljord och därmed förhindra avdunstning. Orsaken till de skilda uppfattningarna om avdunstningsförhållandena i skogsmarken är varierande resultat av lysimeterförsök. Erhåller man exempelvis som i tabell 25 större avrinningsvärden vid 1,0 meters djup än vid 0,5 meters djup, vid ett och samma lysimeterförsök, är det uppenbart att ingen av de ovan nämnda båda uppfattningarna om avdunstningsförhållandena från skogsmarkens vegetationstäcke kan vara allmängiltig. Både GILBERT (1899) och BIELER (1896) ha emellertid för Rothamstedförsöken under olika tidsperioder kommit till i huvudsak ett och samma resultat. Dels smärre olikheter i försöksresultaten och dels den varierande avrinningen på olika djup vittnar dock om svårigheterna att erhålla generella resultat. Den olika perkoleringen på olika djup i Rothamstedförsöken har behandlats av ett flertal författare. Sålunda framhålles i en diskussion i anslutning till ett av SCOTTS (1900) arbeten, (MAWLEY), att blockhalten är en väsentlig orsak till de varierande sjunkvattensmängderna på olika djup. BURGER (1924) ansåg att perkoleringen är låg, när de större porer-

na äro oregelbundet spridda och åtskilda genom småkapillärer, vilket skulle för lysimeterförsökens del gynna oregelbundna sjunkvattenavrinningar även på djupet. HALL (1919) har hävdad att metodiska fel föreligga i de rothamstedska lysimeterförsöken, vilket i någon mån redan tidigt har antytts av WOLLNY (1880)).

Ett mycket vanligt fel vid lysimeterundersökningar är att avdunstningen uträknas såsom skillnaden mellan nederbörd och avrinning. Detta förfaringssätt kan måhända vara riktigt i de lysimeterförsök där sjunkvattnet samlas i slutna tankar (där ytavrinning ej kan ske). Å andra sidan blir sjunkvattenmängderna ofta för stora i dylika fall då man faktiskt ej kan förhindra en viss avrinning utefter kärleus väggar. MUSGRAVE (1935) har visat att av en nederbörd på 650 mm utgjorde perkoleringen till grundvattnet 16 %. Avdunstningen skulle i så fall vara 84 %. Det visade sig emellertid att ytavrinningen var 27 %, varför avdunstningsvärdet blott blev 57 %. Det är dessutom icke otänkbart att det genom kapillära rörelser i marken betingade av en oregelbunden geologisk lagerföljd, försvinner ytterligare en del vatten innan grundvattnet nås. Enbart en sådesstubb (HARRIS och JONES 1917) kvarhåller snötäcket effektivt och kan sålunda på grund av sin oregelbundna förekomst menligt inverka på sjunkvattnets jämna perkolering genom marken. Ytavrinningens betydelse insågs emellertid redan av WOLLNY (1890), som i sina grundläggande markfysikaliska försök tog upp dessa problem. Trots detta beaktades icke hans resultat i samtidens lysimeterundersökningar.

Resultaten från rothamstedförsöken äro emellertid även av andra skäl icke direkt giltiga i vårt land. Under 20 års försök (1870–1890) visade sig medelnederbörden vara 751.8 mm per år i Rothamsted (v. FEILITZEN 1900) och medeltemperaturen för hela året $+9,0^{\circ}\text{C}$, medan exempelvis i Jönköping, där v. FEILITZEN arbetade, medeltemperaturen under samma tid var $+5,9^{\circ}\text{C}$ och medelnederbörden 494,8 mm. Dessutom är nederbörden i Rothamsted synnerligen jämnt fördelad på årets alla månader, vilket icke är fallet i vårt land. En jämnt fördelad nederbörd, som därtill är tämligen hög, ger betydligt större förutsättningar för infiltration i marken. Ur såväl klimatisk humiditets-synpunkt som med hänsyn till jordarterna äro rothamstedförsöken därför icke reproducerbara för vårt lands vidkommande.

WOLLNY insåg på ett tidigt stadium sambandet mellan jordarternas fysikaliska egenskaper och de erhållna sjunkvattenmängderna vid lysimeterförsök. Han utgav ett flertal grundläggande arbeten (1888, 1890, 1896, m. fl.) inom jordartsfysiken, och det är ganska intressant att taga del av hans tidigaste försök inom detta område. Av tabell 26 framgår hans balansräkningar för vattenomsättningen i olika jordarter med olika markbetäckning.

Ett annat fenomen, som WOLLNY uppmärksammade genom att jämföra ett flertal lysimeterresultat, var att sjunkvattenprocenten avtog mycket snabbt, då den årliga nederbörden sjönk under 600 mm. Motsvarande rön ha i sen tid även uppmärksamats av ØDELIN och VIDME (1945. Jfr även LÅG 1947). Vi få tillfälle att senare återkomma till dessa synnerligen viktiga arbeten.

Tabell 26. *Lysimeterförsök (enl. WOLLNY) i odlad jord, där jordart och markvegetation varierat.*

Lysimeterversuche (nach WOLLNY) bei variierender Bodenart und Bodenvegetation.

	Obetäckt mark Kahler Boden	Kompostjord på marken Komposterde	Gräsbevuxen mark Grasbewachsener Boden
	Sjunkvatten i % av totalnederbörden Sickerwassermengen in % des Niederschläges		
Sand	70 %	72 %	14 %
Lerig mjäla (Lehmige Schluff)	44 %	56 %	1.3 %
Torv	39 %	60 %	9 %

Nederbördsperioden maj—okt. 1876.
Sammanlagt 409 mm.

Nederbördsperioden
maj—okt. 1875.
Sammanlagt 567 mm.

Redan tidigt framgick sålunda jordartens betydelse för de slutgiltigt erhållna sjunkvattenmängderna i lysimetrar. Sålunda fick HAZEN (1893) ett rätlinjigt samband mellan kornstorleken i sandjordar och erhållet sjunkvatten. Ökad kornstorlek gav ökad mängd sjunkvatten. Motsvarande värden erhöles även KING (1898). Förhållandena voro icke lika enkla för finkorniga jordarter. LUTZ (1934) visade att jordar med hög lerhalt men i aggregatstruktur lättare släppte igenom sjunkvattnet än lättare jordar i enkelkornstruktur. Något senare visade STAUFFNER och SMITH (1937) vad de olika jordarterna i en och samma markprofil betyder för dräneringen. Framför allt äro deras iakttagelser över moränens förmåga att förhindra en perkolering av stor betydelse.

Den kemiska sammansättningen av sjunkvattnet i lysimeterförsöken rönt från början lika stort intresse som mängden. Redan WAY (1850) ger en god överblick över de olika näringsämnenas förekomst i lysimetervattnet. Senare kunde GILBERT och WARINGTON (1882) visa att kvävet i sjunkvattnet i huvudsak består av nitratjoner. De påvisade även väsentligt större kväveförluster i obetäckt mark än i bevuxen. Det första försöket att så allsidigt som möjligt studera sjunkvattnet finner man hos GERLACH (1926). Icke blott sjunkvattnets kemiska sammansättning utan även dess samband med jordarter, ytavrinning etc. granskades. I Sverige äro v. FEILITZENS (1912) lysimeterförsök från torvjordar av stort intresse. Deras skogliga betydelse är dock begränsad. Jordbruksförsök med lysimetrar ha icke löst frågan om hur näringstransporten i marken mellan markytan och grundvattnet sker, även om man kunnat beräkna näringsförlusterna genom urlakning under vissa grödor. De näringsmängder, som levererats av lysimetrarna, har växlat inom tämligen vida gränser beroende på olika förutsättningar. Övergången från fritt till bundet vatten och vice versa beror på jordartens kornstorlek, porvolym, humushalt osv. Förutom fysikaliska förhållanden tillkomma även de ständiga kemiska förändringarna i markvätskan till följd av jonutbyte m. m. Det är därför tydligt att den kemiska förändring, som markvätskan un-

dergår på sin väg ner mot grundvattnet, är mycket komplicerad och icke enbart kan studeras med hjälp av lysimeterförsök. Dessa äro därtill icke alltid utförda så att de motsvara de i verkligheten rådande urlakningsbetingelserna. Anlägges t. ex. ett lysimeterförsök på en åker låter man ofta denna ligga under en följd av år med så liten bearbetning som möjligt. Följden blir att kapillärer o. dyl. utbildas, som ge en ökad sjunkvattenmängd. [GERLACH (1926) har visat att urlakningen i oplöjda jordar är betydligt större än i plöjda.] En annan orsak till att lysimeterförsöken icke infriat förhoppningarna betr. lösandet av markens urlakningsproblem, var att man ansåg att växterna för sin näringsförsörjning helt var hänvisade till de i markvätskan lösta jonslagen. Ända till för några årtionden sedan var uppfattningen den, att markmineralen måste frigöra joner till markvätskan och att det först därefter var möjligt för växtligheten att medelst rötterna absorbera ifrågakvarande näringsämnen (JENNY och OVERSTREET 1939 m. fl. Se även LUTZ och CHANDLER 1946 s. 339). I realiteten sker näringsupptagandet dels genom markvätskan direkt och dels genom ett jonutbyte mellan katjoner på rötternas yta och katjonerna i markkolloiderna och dels genom rötternas direkta angripande av markmineralen. Ett sådant näringsupptagande påverkas av ett mycket stort antal faktorer. Det torde därför vara självklart att lysimeterresultaten för jordbrukets del ur kemisk och även fysikalisk synpunkt i huvudsak få anses representativa för förhållandena på den plats där de anlagts och i varje fall ej utan vidare även för skogbevuxen mark.

c. Skogliga lysimeterförsök

Lysimeterförsök i skogsmark äro betydligt mera sällsynta än i åkerjord. Detta torde med hänsyn till det ordnade skogsbrukets relativt ringa ålder i och för sig vara naturligt. Därför är det desto mera beundransvärt att de få skogliga lysimeterförsök, som utförts under de senaste hundra åren, äro synnerligen väljorda. Man har verkligen bemödat sig om att låta markprofilen förbli så orörd som möjligt. Naturligt vore om utvecklingen av lysimetermetodiken inom jordbruket direkt utnyttjats av skogsmännen, men förhållandet kan sägas vara det omvända. EBERMAYER (1879) fann nämligen redan tidigt att den för åkermark gängse lysimetermetoden, där jorden lades i en behållare, som stod i förbindelse med ett uppsamlingskärl, icke gav resultat i överensstämmelse med de verkliga förhållandena i skogsmarken. Samme författare (EBERMAYER 1873) hade dessförinnan gjort jämförande undersökningar mellan sjunkvattenmängderna i trädad jord och skogbunden mark. Resultaten tyda på mindre sjunkvattenmängder på djupare lager i skogsmarken än på öppen mark. Vid en jämförelse mellan sjunkvattenmängderna i områden med 6-åriga granar, med 6-åriga bokar, med torv och utan vegetation erhöill EBERMAYER (1889, jfr även GILBERT 1890) procentuellt betydligt mera sjunkvatten från torvmark och vegetationslös mark än från ungskog och skillnaden blev större ju lägre nederbörden var. Däremot blev den betydligt mindre då den årliga nederbörden närmade sig 1000 mm. EBERMAYER utgav år 1900 en sammanfattning av resultaten av sina undersökningar över vattenfaktorn i skogsmarken. Tyvärr har

han ej utfört några kemiska analyser av sitt lysimetervatten. Dylika, dock rätt fåtaliga, kommo för skogens del först sent till utförande av JOFFE (1932, 1933 a och 1932 b) samt av LUNT (1935 och 1937).

Man har desto mer varit inriktad på att med hjälp av lysimetrar av olika slag studera själva infiltrationen i skogsmarken. Därvid erhållna siffror bli dock oftast synnerligen ojämba till följd av variationer i vegetationen m. m. Trots detta ha försök gjorts att matematiskt bestämba ytvattnets infiltrationshastighet av bl. a. SHERMAN (1938). Den hydrologiska cykeln torde dock även i skogsmarken vara alltför komplicerad för att kunna bindas i formler, såvada försöksområdet icke blir synnerligen stort (jfr BAIRD 1939). Försök att med hjälp av känsliga instrument bestämba infiltrationshastigheten i skogsmarken ha utförts vid Appalachian Forest Experiment Station. (BRATER 1939.) Resultaten av dessa försök finnas emellertid i en publikation som hittills ej av mig kunnat åtkommas.

Skogsmarkens förmåga att absorbera nederbörden iakttogs tidigt, och följden blev att man sedan ofta utnyttjade skogsförna såsom markbetäckning på odlad jord för att därigenom kunna göra jämförelser med obetäckt mark. De tidigaste undersökningarna med skogsförna av detta slag utfördes som ovan nämnts av EBERMAYER (1889). BÜHLER (1881) utförde en del lysimeterförsök med torv, kalkhaltig jord (förvittringsprodukt från Jura-formationen i Baden), sand och moig, småstenig lättlera. Undersökningen utfördes i Wallis i Schweiz, där nederbörden är 1400—1600 mm pr år. De sjunkvattenmängder som under 3 år nådde 1,2 m djup utgjorde 58% av den totala nederbörden. I fråga om åkerjord visade sanden sig vara mest genomsläpplig och därefter torvjorden, den kalkrika jorden och den steniga molättleran i nu nämnd ordning. I barrskog fick BÜHLER i lysimetrarna för de olika markbetäckningarna följande sjunkvattenmängder uttryckta såsom procent av de för kalmare erhållna värdena: Torvjord 72 %, kalkrik jord 103 %, sand 90 % och stenig molättlera 73 %.

Intressant är att torven och lättleran i barrskog äro likartade vad beträffar genomsläppligheten. BÜHLER (1895) fann senare att avrinningen från gräsbevuxen buskvegetation eller barrskog blev c:a 22 % lägre än från kalmare. Denna siffra kan förefalla låg med hänsyn till den höga nederbörden. Till ungefär motsvarande värde komma dock även AUTEN (1934), ROWE (1937) m. fl. — JOFFE (1933 a) är den hittills ende forskare som genom lysimeterförsök bestämt perkoleringen genom de olika horisonterna i en järnpodsol. Lysimeterförsöken utfördes i New Jersey (1000 mm nederbörd). Det visade sig därvid att blott 17 % av den perkolerade vätskemängden från A_1 når A_2 -horisonten under ett år. Ett påföljande år blev siffran blott 8.3 %. Nämnas bör att A_1 -skiktet låg 18 cm från markytan (ovanför låg H_0 , dvs. ett humusskikt).

Skogsmarkens porositet i jämförelse med åkerjordens har också tagits upp till diskussion. AUTEN (1933) anser att den sekundära porositeten (som åstadkommes av rötter, uppfrysning m. m.) är betydligt större i skogsjordar och gör sig där mest gällande i de översta 15 centimetrarna. Samme författare anser sig ha påvisat att absorptionen av nederbördsvattnet är synnerligen stor i skogsmarkens översta 2—3 cm för att sedan

avtaga snabbare än i åkerjord. I Sverige med sin genomsnittliga nederbörd av 600 mm har detta förhållande givetvis en stor betydelse och bör beaktas vid alla resonemang om skogsmarkens förmåga att kvarhålla större nederbördsmängder, utan att perkolering i någon högre grad sker.

För att undersöka infiltrationen i skogsmark lade KITTREDGE (1938) ut tvenne ytor, den ena i ett skogsbestånd (25—30-årig *Pinus radiata*, 20 cm i brösthöjds diameter och 11 meter höga), den andra på en hyggesbränd fläck i likartad skog. De markfysikaliska undersökningarna visade att rötter m. m. gjorde skogsjorden betydligt porösare än den yta som varje år brändes. Volymvikterna blevo 1.12 resp. 1.38 och fuktighetshalterna 26.8 % resp. 24.7 %. Under sex år bedrevos infiltrationsförsök på dessa ytor. Resultaten visade att infiltrationen var fyra gånger större i den skogsbevuxna ytan. Detta innebar icke att perkoleringen till grundvattnet i skogsmark också skulle vara så mycket större. KITTREDGE avsåg till stor del att med sina försök belysa yterosionen på kalmark, ett problem som dock icke är lika aktuellt i vårt land. På många håll i världen är dock yterosionen ett av de största markproblemen man har. Överhuvud taget är skogsförnans förmåga att absorbera häftiga nederbördsöverskott såsom skydd mot yterosion i detalj studerad av ett flertal forskare ss. LOWDERMILK (1930), EDEN (1933), MUNNS (1938) m. fl.

Ett av de mest fullständiga försöken att beräkna balansen nederbörd-avrinning-avdunstning för såväl skogs- som åkermark påbörjades av ENGLER i början av 1900-talet i Schweiz. ENGLER (1919, s. 563) visade att skillnaderna i avrinning mellan ett skogbevuxet område och ett svagt skogbevuxet område äro små. För resp. områden erhöill han 59.3 % och 62 %. BURGER (1931, 1934) har fortsatt ENGLERS observationer inom samma försöksområden. Avrinningssiffrorna äro höga och tagas ofta som exempel för att därmed visa att avdunstningen från skogen icke är större än från öppen mark. Därför bör det framhållas att ENGLERS värden grunda sig på lokaler med mellan 1500 och 1600 mm nederbörd p. år. Dessutom äro hans försöksområden starkt kuperade, varav följer att ytvattenavrinningen icke får förbises. De berömda schweiziska undersökningarna äro följaktligen icke tillämplbara i vårt land.

LÅG (1948) diskuterar förhållandet mellan nederbörd och sjunkvattenmängd och framhåller att smärre regnmängder mera sällan förmår bilda fritt sjunkvatten. Först under förutsättning att de lösa jordarterna äro helt tunna erhålles ett samband mellan nederbörd och sjunkvattenmängd. Detta samband existerar icke inom mäktigare jordlager och LÅG (1948) uttrycker det sålunda: »Med andre ord kan altså en nedbörsmengde som har 'biologisk virkning' vaere uten større direkte 'pedologisk virkning'». ØDELIN och VIDME (1945) ha lämnat uppgifter om de första lysimeterförsök, som utförts i Norge. I en lätt lerjord vid Norges lantbrukshögskola, där årsnederbörden var 760 mm, erhöills sjunkvattenmängder som i genomsnitt motsvarar 52 % av totalnederbörden (1.1 m djup). Vid extrapolering visar det sig att ingen avrinning från motsvarande område sker, om årsnederbörden ligger under c:a 470 mm. MASCHHAUPT (1938) har från motsvarande försök i Groningen också erhöillit värdet 500 mm såsom minimum för att

överbud taget något sjunkvatten skall kunna erhållas. Rothamstedförsöken gav emellertid på obeväxt mark sjunkvatten redan efter 270 mm årsnederbörd. ØDELIN och VIDME anser sig ha påvisat att mark, som icke bär gröda, ger 150—200 mm mindre mängd sjunkvatten. I detta sammanhang bör Eberwaldlysometerförsöken omnämnas. Dessa (W. FRIEDRICH 1950) omfatta bl. a. lysimeterförsök (betr. konstruktionen av lysimetern, se BARTELS 1933 s. 205) med unga granplantor på sandjord. De gävo under åren 1934—37 en medelavdunstning på 461 mm, medan nederbörden var 582 mm. På motsvarande mark — under samma period — blev avdunstningen från gräsvegetation 337 mm. Överensstämmelsen med ØDELIN och VIDMES resultat är god. Ett flertal försök har gjorts för att bestämma det matematiska sambandet mellan nederbörd och urlakning inte minst i USA (t. ex. HORTON 1939). På obeväxt mark erhållas tämligen allmängiltiga avrinningsvärden (omkring 5 % för 600—700 mm nederbörd), men så snart vegetation av något slag har möjlighet att påverka infiltrationen, är avrinningen nästan alltid betydligt mindre.

De norska försöken visa, att nederbördens storlek är av avgörande betydelse för erhållna mängder sjunkvatten. Dock får man ej förglömma temperaturens inverkan på avdunstningen, som gör att lokaler med samma nederbördsmängd men med olika temperaturförhållanden icke kunna jämföras. Vegetationsperiodens längd spelar också en väsentlig roll. Sedan tillkommer ytterligare en faktor nämligen lysimeterförsökens konstruktion. Som tidigare nämnts beräknas avdunstningen som en skillnad mellan nederbörd och sjunkvattenmängd, varvid alla felkällor i lysimeterkonstruktionen — antingen de nu giva för hög eller för låg sjunkvattenmängd — kommer att inverka på avdunstningsvärdet. De allra flesta lysimeterförsök — de norska ej undantagna — äro vanligen utförda så att man grävt en fyrkantig kammare, vars väggar och golv gjutits med cement el. dyl. Det torde vara ofrånkomligt att sjunkvattenmängderna böra bli stora i proportion till lysimeterförsökets markytstorlek. Ju mindre markyta lysimeterförsöket omfattar desto större roll spelar infiltrationen utmed lysimeterns innerväggar. Dvs. principen är ungefär densamma som vid hällinfiltration. Den av JOFFE (se ovan) använda lysimeterrännan (från början konstruerad av EBERMAYER), som inskjutes i den orörda markprofilen, undviker bl. a. dessa felkällor. Egendomligt nog tyckes EBERMAYER icke ha använt sig av denna ränna i sådan utsträckning att publicerade värden föreligga, dock påvisade han (1873 s. 218) att trots att nederbörden i skogsmark (till följd av krontakets interception) vanligen var 26 % mindre än inom öppen mark, erhöles mera sjunkvatten inom det skogbevuxna området än inom det fria. Dock blevo olikheterna mindre på c:a 1,2 meters djup under markytan. Denna sistnämnda iakttagelse visar att man på större djup erhåller allt mindre sjunkvatten i skogklädd mark. Från försök i den skogliga försöksanstalten i München åren 1886—1887 (årsnederbörd 855 mm) anger EBERMAYER (1910 s. 31) att sjunkvattenmängderna från öppen mark äro dubbelt så stora som under granskog.

De ovan relaterade arbetena äro, som nämnts, icke alltid jämförbara med vattenbalansen i vår skogsmark. Humiditeten, jordartstypen, skogsträdens ålder etc. äro några

få av de faktorer som inverka på sjunkvattnets perkolering. Otoliga lysimeterförsök måste tydligen utföras med ett stort antal varierande försöksbetingelser för att man skall kunna få reproducerbara värden för olika typer av skogsmark. Jämföras exempelvis BURGERS avrinningsvärden med JOFFES lysimeterförsök enligt ovan, motsäga de varandra totalt. Redan nu må nämnas att förf.:s (se nedan i följande delkapitel) och STÅLFELTS (1944) skogliga lysimeterförsök äro samstämmiga, dvs. i intet av våra försök har sjunkvatten erhållits på 1 meters djup. I detta sammanhang må nämnas vissa undersökningar på Java, där COSTER (1937) framhåller: »Even during the wet monsoon, when rainfall does not exceed 3000 mm a year or 250 mm a month, many types of vegetation use the total amount of water percolating into the soil. Reafforestation of the plains in the tropics is generally not conducive to the flow of springs.» (Jfr även MOHR och VAN BAREN 1954 s. 77.) ØDELIN och VIDMES (1945) undersökningar m. fl. stöder oss också i våra undersökningsresultat, men trots detta erhåller man otvivelaktigt en avrinning i södra och mellersta Sverige som motsvarar 30—50 % av den totala nederbörden. Sker huvuddräneringen utmed hållar och i rotkanaler eller äro lysimeterförsök i skogsmarker fullständigt missvisande? Hällimpedimentprocenten är låg (1—4 %) enligt riksskogstaxeringen och rötter äro förhållandevis sparsamma enligt KALELA (1949) på större djup än 40 cm.

Det är uppenbart att förf.:s resultat måste sättas i samband icke blott med hittills utförda lysimeterförsök, utan också med avrinningsförhållandena i vårt land. Sjunkvattnets förekomst och egenskaper måste emellertid först undersökas, vilket också är gjort i detta och de närmast följande kapitlen.

3. *Lysimeterförsök inom Bjurfors kronopark*

Variationerna i hittills erhållna lysimetervärden äro förklarliga med hänsyn till det stora antal varierade faktorer som påverka sjunkvattnet. Sådana äro främst växtslag, jordart, jordmån, nederbörds mängd och temperatur. Infiltrationen i marken är därför synnerligen oregelbunden och dess belopp växlar inom vida gränser. I en markprofil har sjunkvattnet många skikt att passera innan grundvattnet uppnås, och det är därför tämligen självklart, att ett exakt förutsäggande av den jonkoncentration sjunkvattnet hinner få ej torde vara möjligt ens med täta lysimeterserier. Å andra sidan äro som ovan visats de stora likheterna i kemiskt hänseende mellan grundvatten och ytvatten slående. Det har därför varit av stort intresse att undersöka sjunkvattnet på olika nivåer av markprofilen. För detta ändamål ha tämligen enkla lysimeterförsök lagts, framför allt å Bjurfors kronopark. Ett idealiskt sådant borde omfatta en så stor yta, att vattenavrinningen från ett helt bestånd och ej endast från någon enstaka kvadratmeter erhålles. Förf. har emellertid av såväl kostnads- som tidsskäl sett sig nödsakad att utnyttja betydligt mindre lysimeterförsök med ur teknisk synpunkt tämligen be-

gränsad livslängd. Resultaten härav få därför endast anses som vägledande för fortsatta undersökningar. På förslag av docenten C. O. TAMM valdes en lysimeterkonstruktion — en ränna — som ursprungligen utarbetats av EBERMAYER. Konstruktionen framgår av fig. 3—5. Fördelarna med denna är, att den kan anbringas på ett sådant sätt att markprofilen förblir orubbad och att den är förhållandevis billig i anskaffning, medan dess nackdelar bl. a. äro att täta observationer måste göras samt att livslängden är begränsad.

De tvenne platser å Bjurfors kronopark som utvaldes för lysimeterförsök undersöktes ståndortsmässigt synnerligen noggrannt för att följande önskemål skulle tillgodoses. Framför allt borde försöken läggas dels i moränmark (osvallad) och dels i sorterade jordar. Områdena måste vara plana, deras skogstyper någorlunda jämförbara och även s. a. s. normala för Mellansverige. Beståndens ålder borde också vara likartad för de bägge ytorna. Dessutom borde de ligga så att de med lätthet kunde skötas, sålunda icke för långt från väg. Slutligen utvaldes tvenne områden i 60—70-årig husmossrik tallgranskog, det ena inom det stora, plana moränområdet 1 km S Bjurfors herrgård och det andra på distalsidan av den lilla rullstensåsen öster om Dammsjön. På lokalkartan i fig. 8 äro försöksområdena markerade med L_1 , L_2 resp. L_3 — L_8 .

Inom det förra försöksområdet anlades tvenne lysimetergropar med vardera ett flertal rännor. Jordarten är sandig-moig morän utan tendens till ytstenighet. Däremot är den stenig på djupet, vilket försvårade frampreparerandet av vertikala, jämna moränväggar i vilka lysimeterrännorna kunna slås in. Moränens mekaniska sammansättning framgår ur tab. 50, analys 9. Lokalkartan visar försökens exponering i olika väderstreck.

Försök L_1 och L_2 : 70-årig barrblandskog av bonitet 3, tämligen välsluten. Försöken ligga intill varandra i en glesare del av beståndet. Rakt ovanför försök L_1 står en större tall vars grendropp når in på försöksytan, men teoretiskt sett borde ett dylikt nederbördstillskott hamna utanför de inskjutna lysimeterrännorna. Vid starka vindförhållanden erhålles dock därigenom ett tämligen stort extratillskott i rännorna. Vegetationen vid försök L_1 består av *Majanthemum bifolium* t, *Melampyrum pratense* t, *Deschampsia flexuosa* t, *Hylocomium splendens* y, *Dicranum* sp. e. Vid L_2 av *Vaccinium Myrtillus* s, *Vaccinium Vitis-idaea* e, *Majanthemum bifolium* e, *Deschampsia flexuosa* e, *Hylocomium splendens* y-r, *Pleurozium Schreberi* r.

Kring vardera försöksgruppen placerades tre till fyra enkla regnmätare (glasflaska med tratt) i olika väderstreck för att om möjligt ge en uppfattning om den genomsnittliga nederbördsmängd, som når markytan. Dessutom har värden från den vid Bjurfors skogsskola belägna station, som lämnar observationer till Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institutet, använts för att erhålla jämförelsevärden.

I nedanstående tabeller ha resultaten av lysimeterförsöken inom moränytan sammanfattats.

Rännornas oregelbundna numrering är betingad av att fältförsöken fortfarande äro i gång.

Tabell 27. Lysimeterförsök (L₁) å Bjurfors kronopark. (Sandig-moig morän.)

Lysimeterversuche (L₁) im Staatsforst Bjurfors.

Datum		Nederbörd å Bjurfors skogsskola Nederschlagsmenge bei der Forschteule in Bjurfors	Nederbörd i regnmätare				Lysimeter 12 Djup: 0.65 m Tiefe: 0.65 m				Lysimeter 13 Djup: 0.60 m Tiefe: 0.60 m				Lysimeter 14 Djup 0.80 m Tiefe: 0.80 m	Lysimeter 15 Djup: 0.95 m Tiefe: 0.95 m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
							Niederschlagsmenge im Regenmesser				Antal ml	Perkolera regn- mängd mm	Perkolierter Regen- menge	Procent av lokala medelnederbörden Procent der lokalen Niederschlagsmittel- werte %		Prov nr	Antal ml	Perkolera regn- mängd mm	Perkolierter Regen- menge	Procent av lokala medelnederbörden Procent der lokalen Niederschlagsmittel- werte %	Prov nr																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
			mm				Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml												Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml	Antal ml

¹⁾ Nederbörd ej observerad vintertid.

²⁾ Ej mätbar sjunkvattenmängd.

Tabell 28. *Lysimeterförsök (L₂) å Bjurfors kronopark. (Sandig-moig morän.)*
Lysimeterversuche (L₂) im Staatsforst Bjurfors.

Datum Datum	Nederbörd å Bjurfors skogsskola Niederschlags- menge bei der Forstschule in Bjurfors mm	Nederbörd i regnmätare				Lysimeter 16 Djup 0.85 m Tiefe 0.35 m				Lysimeter 17 Djup 0.60 m Tiefe 0.60 m				Lysimeter 18 Djup 0.90 m Tiefe 0.90 m			
						Antal ml	Perkolerad regnmängd	Procent av lokala medel- nederbörden	Prov nr	Antal ml	Perkolerad regnmängd	Procent av lokala medel- nederbörden	Prov nr	Antal ml			
		Niederschlagsmenge im Regenmesser mm	Anzahl ml	Perkolierte Regenmenge	Procent der lokalen Nie- derschlags- mittelwerte %	Probe nr	Anzahl ml	Perkolierte Regenmenge	Procent der lokalen Nie- derschlags- mittelwerte %	Probe nr	Anzahl ml						
		N	S	O	V	ml	mm			ml	mm			ml			
2/9 1952	27,1																
11/9	23,1	42,0	46,0	33,0	41,0												
26/9	25,7																
29/9	5,1	29,0	26,0	22,0	28,5	455	21,8	82,6	268	0	0	0		0			
12/10	24,2	24,4	27,2	27,0	25,0	314	15,1	58,1	297	4	0,2	0,8	298				
25/10	27,2	25,9	29,4	28,8	27,7	155	7,4	26,4	302	0	0	0		× ³⁾			
31/10	26,5	29,3	28,1	27,4	25,1	161	7,7	28,0	318	0	0	0		× ³⁾			
16/1 1953	27,1	1)	1)	1)	1)												
20/2	62,9																
20/3	12,0																
12/4	57,9								92	4,4		321	× ³⁾				× ³⁾
16/4	0								25	1,2		328	0	0	0		× ³⁾
23/4	2,2					30	1,4		331	0	0	0		× ³⁾			
3/5	10,1	12,1	16,1	14,1	15,4	0	0	0		0	0	0		× ³⁾			
24/5	10,9	4,1	4,2	2,3	1,5	0	0	0		0	0	0		0			
10/6	61,2	45,5	47,6	47,2	Full ²⁾	320	15,4	32,2	338	0	0	0		0			
4/7	40,2	31,2	32,1	30,0	33,4	0	0	0		0	0	0		0			
14/7	108,2	Full	Full	Full	Full	0	0	0		0	0	0		0			
26/7	40,5	32,6	33,1	30,9	33,7	434	20,8	63,8	341	5	0,2	0,6	342	0			
18/8	26,2	3	6	5	7	0	0	0		0	0	0		0			
29/8	41,1	33,5	35,1	35,9	37,0	9	0,4	1,1	368	2	0,1	0,3	369	0			
27/9	34,9	28,1	30,6	29,7	30,2	0	0	0		0	0	0		0			
29/10	51,8	38,5	39,4	40,1	38,1	4	0,2	0,5	387	0	0	0		0			
28/11	21,6	8,9	8,9	10,5	9,5	0	0	0		0	0	0		0			
S:a	867,7					1999	95,8	11,0 %		11	0,5	0,06 %		0			
S:a/1 år	759,4					1995	95,6	12,6 %		11	0,5	0,06 %					

¹⁾ Nederbörd ej observerad vintertid. ²⁾ Minst 51 mm. ³⁾ Ej mätbar sjunkvattenmängd.

Tabell 29. *Sjunkvattenmängd på olika djup i procent av årsnederbörden. Försök L₁ och L₂.*
Die Sickerwassermenge in verschiedenen Tiefen in Prozenten des jährlichen Niederschlages angegeben.

Årsnederbörd:	Perkolerad mängd i % av årsnederbörden. Sickerwassermengen in % des jährlichen Niederschlages						
	Lysimeter 13	Lysimeter 12	Lysimeter 14	Lysimeter 15	Lysimeter 16	Lysimeter 17	Lysimeter 18
Jährliche Niederschläge:	0,60 m	0,65 m	0,80 m	0,95 m	0,35 m	0,60 m	0,90 m
759 mm	3,7	1,7	0	0,11	12,6	0,06	0

Tabell 29 visar att årsnederbörden vid Bjurfors skogsskola varit 759 mm, och att 3.7 % därav nått 60 cm djup, 1.7 % 65 cm djup, 0 % 80 cm djup och 0.11 % 95 cm djup.

Såsom framgår av tabellerna 27 och 28 ha de lokala regnmätarna icke avlästs vintertid. Det är därför icke möjligt att säga hur stor del av den lokala årsnederbörden som når olika djup.

Förf. har medvetet undvikit att placera lysimeterförsöken under större träd, utan smärre gläntor, väl omgärdade av träd, har i stället utvalts, för att icke träddropp o. dyl. skola ge upphov till värden av enbart lokal betydelse. De lokala regnmätarna ha som synes av tabellerna nära nog genomgående erhållit för låga mängder i jämförelse med stationen vid Bjurfors skogsskola. Detta beror på trädens regnskugga. En berättigad invändning mot förf:s försök vore därför att stora delar av nederbörden fångas upp av trädkronorna och når marken utmed stammarna, varför lysimeterförsöken skulle ge för låga värden. Lysimetrarna borde därför kanske ha placerats dels inunder träd, dels i gläntor och dels på öppen mark. Mot detta må dock erinras att målet var att undersöka det sjunkvatten som passerar den husmossbetäckta marken i ett normalt skogsbestånd. Om försök skall placeras under träden torde ett mycket stort antal fordras för att få allmängiltiga värden. Dessutom torde nederbörd, som når marken, bli mera jämnt fördelad i gläntor än under träden, vars grova rötter måste befordra en ojämn perkolering nedåt.

De till synes slumpmässigt varierande mängderna i lysimterrännorna anser förf. i många fall bero på rotkanaler o. dyl. som icke alltid befinna sig i statiskt läge; det torde ständigt ske förändringar i de översta markskikten till följd av rottillväxt etc., som leder nederbörden i olika »rotbanor». Det måste föreligga i viss mån dynamiska infiltrationsförhållanden i marken, vilket gör att lysimeterförsök av alla slag bli synnerligen svåra att tolka på rätt sätt.

Som framgår av tabell 30 äro jonkoncentrationerna i sjunkvattnet höga. Kalium förekommer i högre halter än som påträffats i grund- eller ytvattnet. Natriumjonen däremot förekommer i sjunkvattnet i ungefär samma koncentration som i grundvatt-

Tabell 30. *Sjunkvattnets kemiska sammansättning. (Bjurfors lysimeterförsök.)*

Die chemische Zusammensetzung des Sickerwassers: (Bjurfors Lysimeterversuch.)

Analys nr	Lysimeter	Djup i m. Tiefe in m.	Ca	Na	K	mg/l
378	5	0,50	10,4	1,8	4,6	
242	7	0,50	12,4	2,3	4,9	
243	7	0,50	18,2	6,9	5,1	
245	7	0,50	9,2	7,0	6,3	
252	7	0,50	8,4	5,1	3,9	
269	7	0,50	5,9	1,9	7,2	
299	7	0,50	6,8	4,3	5,1	
303	7	0,50	7,1	5,8	6,0	
335	7	0,50	2,9	9,2	4,5	
	12	0,65	2,4	5,7	6,4	
253	12	0,65	9,8	5,8	4,8	
283	12	0,65	7,1	6,2	3,9	
300	12	0,65	5,9	6,4	5,1	
305	12	0,65	6,2	3,4	4,0	
319	12	0,65	7,0	2,1	3,9	
326	12	0,65	5,1	7,6	6,0	
329	12	0,65	9,0	8,0	1,9	
336	12	0,65	8,4	9,1	7,8	
339	12	0,65	6,3	9,0	1,2	
365	12	0,65	2,1	2,5	2,1	
370	12	0,65	8,4	8,1	3,4	
267	13	0,60	12,0	5,6	4,3	
293	13	0,60	8,5	8,9	6,9	
301	13	0,60	9,1	2,4	7,1	
306	13	0,60	4,5	8,1	2,8	
320	13	0,60	5,3	1,9	6,9	
327	13	0,60	5,2	4,2	7,2	
330	13	0,60	8,2	6,0	5,1	
337	13	0,60	7,1	5,8	5,4	
340	13	0,60	7,4	7,2	3,2	
367	13	0,60	3,4	3,4	3,4	
373	13	0,60	1,5	8,1	5,9	
293 b	15	0,90	6,1	7,1	4,3	
268	16	0,90	10,8	5,4	8,1	
297	16	0,90	12,4	5,3	2,4	
302	16	0,90	3,9	2,8	6,5	

Forts. å nästa sida.

Tabell 30. Forts.

Analys nr	Lysimeter	Djup i m. Tiefe in m.	Ca	Na	K mg/l
318	16	0,90	8,5	9,2	5,0
321	16	0,90	6,9	3,4	4,8
328	16	0,90	7,9	5,2	1,9
331	16	0,90	8,2	6,9	3,9
338	16	0,90	3,5	7,1	5,1
341	16	0,90	9,3	7,2	2,9
368	16	0,90	2,1		
387	16	0,90	2,9	1,1	6,1
298	17	0,90	5,9	4,9	3,5
342	17	0,90	6,2	5,2	4,5
369	17	0,90	1,8	3,9	2,9

net. Detta beror troligen på att denna jon mindre lätt fastlägges. Kalciumhalterna äro högre än i grundvattnet inom Bjurforsområdet.

Såsom jämförelse med lysimeterförsöken å moränmark placerades 11 lysimetrar i sandigt grus inom distalbildningarna till den lilla rullstensåsen öster om Dammsjön (fig. 8). Dessa lysimetrar äro fördelade på fem gropar (försök L₃–L₇).

Lokalbeskrivning: I samtliga fall består trädskiktet av 65–70-årig barrblandskog av bonitet 3. Jordartsanalys nr 6 tab. 50. Markvegetationen var inom de olika försöken följande:

Försök L₃: *Vaccinium Vitis-idaea* r, *Vaccinium Myrtillus* r, *Pleurozium Schreberi* y, *Dicranum* sp. s, *Hylocomium splendens* r.

Försök L₄: *Vaccinium Myrtillus* s, *Hylocomium splendens* r–y, *Pleurozium Schreberi* e.

Försök L₅: *Hylocomium splendens* y, *Pleurozium Schreberi* r.

Försök L₆: *Vaccinium Myrtillus* t, *Majanthemum bifolium* s, *Pleurozium Schreberi* r–y, *Hylocomium splendens* r.

Försök L₇: *Vaccinium Vitis-idaea* r, *Deschampsia flexuosa* e, *Pleurozium Schreberi* r, *Hylocomium splendens* r.

Resultaten från Dammsjöförsöken framgå av tabell 31.

I grusmaterialet erhöles praktiskt taget inga sjunkvattenmängder i lysimetrarna. Att lysimeterränna 7 under ett år mottagit mängder motsvarande 1,4% av totalnederbörden torde antingen bero på försöksfel eller en tillfällig rotdränering, då större delen därav kom redan i början av försöksperioden. Tabell 30 visar analysvärdena för det sjunkvatten som uppsamlats i lysimetrarna under hela försöksperioden. Även här ha mycket höga halter erhållits, som likaså äro betydligt högre än grund- eller ytvattnets. Högsta kalciumhalten har erhållits i lysimeterränna nr 7, som gav ända till 18,2 mg/liter. Minimihalten är 2,9 mg/liter. För moränerna var motsvarande siffror 12,4 och 1,8 mg/liter. De båda lägre halterna motsvara ungefärligen storleken av grundvattnets kalciumkoncentration. Sjunkvattnets jonkoncentrationer äro stundom högre i det sandiga gruset än i den finkorniga moränen. Jag anser att den

Tabell 31. Lysimeterförsök (L_3 – L_7) å Bjurfors kronopark. (Sandigt grus.)
Lysimeterversuche (L_3 – L_7) im Staatsforst Bjurfors.

		Lysimeterförsök 3 (L3) Lysimeterversuche 3 (L3)				Lysimeterförsök 4 (L4) Lysimeterversuche 4 (L4)				Lysimeterförsök 5 (L5) Lysimeterversuche 5 (L5)									
Datum	Nederbörd å Bjurfors skogsskola	Nederbörd i regnmätare		Lysimeter 1 Djup: 0.45 m Tiefe: 0.45 m	Lysimeter 2 Djup: 0.98 m Tiefe: 0.98 m	Nederbörd i regnmätare		Lysimeter 3 Djup: 0.40 m Tiefe: 0.40 m	Lysimeter 4 Djup: 0.90 m Tiefe: 0.90 m	Nederbörd i regnmätare			Lysimeter 5 Djup: 0.50 m Tiefe: 0.50 m				Lysimeter 6 Djup: 0.97 m Tiefe: 0.97 m		
		Nieder- schlagsmenge im Regen- messer		Antal ml	Antal ml	Nieder- schlagsmenge im Regen- messer		Antal ml	Antal ml	Nieder- schlagsmenge im Regen- messer			Antal ml	Perkolera Regnmängd Perkolerte Regenmenge	Procent av lokal metallnederbörd.	Procent der lokal Niederschlags- mittelwerte.	Prov nr	Antal ml	
		mm	Anzahl ml	Anzahl ml	mm	Anzahl ml	Anzahl ml	mm	Anzahl ml	Anzahl ml	N	S	O	ml	mm			Probe nr	Anzahl ml
Datum	mm	0	V	ml	ml	0	V	ml	ml				ml						ml
2/9 1952	27,1	29	29	0	0	24,0	23,5	0	0	19,6	19,4	18,6	0	0	0				0
11/9	23,1	18,5	24,2	0	0	21,3	22,8	0	0	18,0	21,0	19,3	0	0	0				0
26/9	25,7	26,0	25,0	0	0	19,8	24,5	0	0	21,9	25,8	19,8	0	0	0				0
29/9	5,1	7,0	9,0	0	0	4,4	3,4	0	0	6,0	5,5	5,2	0	0	0				0
12/10	24,2	20,6	24,0	0	0	25,6	28,4	0	0	27,2	22,0	23,6	0	0	0				0
25/10	27,2	24,4	27,0	0	0	27,2	29,1	0	0	27,4	26,7	27,1	0	0	0				0
31/10	26,5	20,1	24,3	0	× ²⁾	26,2	28,5	0	× ²⁾	28,2	24,0	25,6	0	0	0				0
16/1 1953	127,1	1 ¹⁾	1 ¹⁾																
20/2	62,9																		
20/3	12,0																		
12/4	57,9												× ²⁾						× ²⁾
16/4	0			0	0			0	× ²⁾				× ²⁾						0
23/4	2,2			0	0			0	0				0	0	0				0
3/5	10,1	10,5	10,8	0	0	12,0	12,8	0	0	12,1	9,3	9,1	0	0	0				0
24/5	10,9	4,2	5,1	0	0	4,8	3,1	0	0	2,5	0	2,6	10	1,0	9,8		378		0
10/6	61,2	47,1	48,2	0	0	45,2	49,7	0	0	43,4	46,8	45,7	0	0	0				0
4/7	40,2	30,2	35,1	0	0	29,8	30,4	0	0	31,5	33,2	30,0	0	0	0				0
14/7	108,2	Full	Full	0	0	Full	Full	0	0	Full	Full	Full	0	0	0				0
26/7	40,5	33,4	31,2	0	0	34,2	31,6	0	0	31,5	30,4	32,0	0	0	0				0
18/8	26,2	4	3	0	0	7	4	0	0	5	8	3	0	0	0				0
29/8	41,1	38,1	37,2	0	0	37,4	35,1	0	0	37,4	35,4	36,5	0	0	0				0
27/9	34,9	21,7	20,8	0	0	26,1	25,4	0	0	22,3	24,7	22,4	0	0	0				0
29/10	51,8	42,1	40,1	0	0	40,5	39,8	0	0	39,5	40,6	37,1	0	0	0				0
28/11	21,6	10,1	10,2	0	0	9,8	11,2	0	0	10,1	11,1	9,8	0	0	0				0
S:a	867,7			0	0			0	0				10	1,0	0,12 %				0
S:a/1 år	759,4			0	0			0	0				10	1,0	0,13 %				0

¹⁾ Nederbörd ej observerad vintertid.

²⁾ Ej mätbar sjunkvattenmängd.

Tabell 31. Forts.

Datum	Lysimeterförsök 6 (L6) Lysimeterversuche 6 (L6)								Lysimeterförsök 7 (L7) Lysimeterversuche 7 (L7)					
	Nederbörd i regnmätare Niederschlags- menge im Regenmesser			Lysimeter 7 Djup: 0.50 m Tiefe: 0.50 m				Lysimeter 8 Djup: 1.00 m Tiefe: 1.00 m	Lysimeter 9 Djup: 1.53 m Tiefe: 1.53 m	Nederbörd i regnmätare Niederschlags- menge im Regenmesser			Lysimeter 10 Djup: 0.43 m Tiefe: 0.43 m	Lysimeter 11 Djup: 0.95 m Tiefe: 0.95 m
				Antal ml	Perkolerad regnmängd	Procent av lokala medel- nederbörden	Prov nr	Antal ml	Antal ml				Antal ml	Antal ml
	mm			Anzahl ml	Perkolierter Regenmenge	Procent der lokalen Nie- derschlags- mittelwerte %	Probe nr	Anzahl ml	Anzahl ml	mm			Anzahl ml	Anzahl ml
	N	S	O	ml	mm			ml	ml	N	S	O	ml	ml
2/9 1952	25,3	29,0	28,3	7	0,6	2,2	242	0	0	33,5	35,0	30,5	0	0
11/9	19,8	22,5	23,0	5	0,5	2,3	243	0	0	20,8	26,0	24,0	0	0
26/9	20,8	28,5	25,4	7	0,6	2,4	245	0	0	29,4	31,5	29,9	0	0
29/9	8,3	8,4	8,0	4	0,4	4,9	252	0	0	9,0	9,5	8,5	0	0
12/10	19,2	24,2	19,2	54	4,9	23,4	269	0	0	22,6	24,8	22,2	0	0
25/10	20,4	25,1	20,2	12	1,1	5,0	299	0	0	23,2	28,3	24,1	0	0
31/10	19,2	26,2	18,5	23	2,1	9,9	303	0	0	25,1	24,1	23,2	0	0
16/1 1953														
20/2	1)	1)	1)							1)	1)	1)		
20/3														
12/4				× ²⁾				× ²⁾	× ²⁾					
16/4				0	0	0		× ²⁾	× ²⁾				× ²⁾	× ²⁾
23/4				0	0	0		× ²⁾	× ²⁾				× ²⁾	× ²⁾
3/5	7,4	14,2	47,1	0	0	0		0	× ²⁾	13,4	12,2	10,1	0	× ²⁾
24/5	5,1	3,5	2,3	0	0	0		0	0	3,1	4,5	3,2	0	0
10/6	45,7	50,1	48,3	7	0,6	1,3	335	0	0	45,0	46,8	44,9	0	0
4/7	30,3	31,4	32,4	0	0	0		0	0	28,2	25,5	27,4	0	0
14/7	Full	Full	Full	0	0	0		0	0	Full	Full	Full	0	0
26/7	33,4	31,7	32,5	0	0	0		0	0	33,1	34,3	34,3	0	0
18/8	7	4	9	0	0	0		0	0	5	4	0	0	0
29/8	36,4	35,3	36,7	0	0	0		0	0	37,4	36,5	31,3	0	0
27/9	23,1	24,8	27,3	0	0	0		0	0	26,8	28,5	24,2	0	0
29/10	42,0	41,8	43,1	0	0	0		0	0	41,2	43,1	40,1	0	0
28/11	8,9	9,2	12,1	0	0	0		0	0	12,0	13,2	10,1	0	0
S:a				119	10,8	1,2 %		0	0				0	0
S:a/1 år				119	10,8	1,4 %		0	0				0	0

högre sjunkvattenmängden och de lägre jonkoncentrationerna i den sandigmoiga moränen måste innebära att stenigheten — även om ytstenighet ej förmärkes — betyder mer för infiltrationen i skogsmarken än moränens finjordshalt. Både i morän- och grusmarksförsöken försvinna å andra sidan sjunkvattenmängderna nästan helt på 60—80 cm djup.

Fr. o. m. sommaren 1953 ha försök utlagts i avsikt att studera infiltrationshastighet och rotdränering i skogsmark. Dessa försök ha givit så intressanta resultat att förf. redan här preliminärt vill framlägga dem. Dels har med lysimetterännor infiltrationshastigheten under stenar och block bestämts, och dels har så att säga artificiella »rot-system» byggts upp från ytan ner till andra lysimetterännor med hjälp av pianotråd. Pianotrådarna ha icke varit raka utan böjda eller skruvade. De högsta sjunkvattenmängderna — motsvarande över 100 % av den totalt fallna nederbörden — erhöles i den lysimeter, till vilken fyra à fem trådar nedförts. Med hänsyn till de låga mängder som normalt uppsamlas i lysimetrarna, äro dessa värden anmärkningsvärt höga.

I de lysimetterännor som placerats under block, som nå upp över humustäcket, ha mer än 200 % av totalnederbörden uppsamlats. Ligga blocken däremot helt under humustäcket har inget vatten erhållits i underliggande rännor.

Även bevattningsförsök ha utförts. Destillerat, kolsyremättat vatten, motsvarande en nederbördsmängd av 220 mm, utspriddes den 20/8 1952 vid lysimeterförsök L₄ och 12 dagar senare uppmättes i rännan på 0,40 m djup 33 ml vatten, motsvarande en nederbörd på 3,2 mm. Analysen därav gav för kalium 4,0 för natrium 3,4 och för kalcium 0,8 mg/liter.

Trots att dessa preliminära resultat äro grundade på försök i mycket liten skala, anser förf. sig i någon mån kunna stödja sig på dem i slutkapitlet, där balansen mellan nederbörd och avrinning närmare skall diskuteras. Anmärkas bör att försöken utfördes sommartid, då man annars tämligen genomgående icke erhåller vatten i lysimetrarna.

Sammanfattning av lysimeterförsöken i Bjurfors: Lysimeterförsöken på dels moränmark, dels sandigt grus visade att betydligt större nederbördsmängder förmå tränga ned genom den förra än genom den senare jordartstypen. Detta skulle kunna förklaras med att moränens stenighet, även om som på försöksplatsen ytstenighet ej föreligger, befordrar en snabb infiltration genom humustäcket. I andra avseenden erhöles så små variationer i resultaten för de båda jordartstyperna, att man därav förvisso ej vågar draga alltför vittgående slutsatser. Å andra sidan erhöles i intet fall något rinnande eller sipprande sjunkvatten på större djup än 1 meter. Dessa resultat gälla dock endast för plan mark i gläntor. Det vatten, som sipprar utmed träden har ej studerats i detta fall. Den totala nederbörden för Bjurforsområdet var under lysimeterförsökens bedrivande enligt officiella uppgifter 755 mm, dvs. hade ett maximivärde som sedan 1928 endast övertträffats åren 1935 (877 mm), 1944 (925 mm) och 1945 (761 mm). De erhållna resultaten kunna således

Tabell 32. *Lysimeterförsök*

Lysimeterversuche

Datum	Nederbörd vid Hågernäs 7/12 -51- 31/3 -52, vid Röskär 1/4- 52-28/11 -53 Nieder- schlagsmenge bei Hågernäs 7/12 -51-31/3 -52, bei Röskär 1/4-52 28/11-53	Nederbörd i regnmätare				Lysimeter 1 Djup: 0,5 m Tiefe: 0,5 m				Lysimeter 2 Djup: 1,1 m Tiefe: 1,1 m			
		Niederschlagsmenge im Regennmesser				Antal ml Anzahl ml ml	Perkole- rad regn- mängd Perkoli- erte Re- gen- menge mm	Procent av lokala medel- nederbörden Procent der lokalen Nie- derschlags- mittelwerte %	Prov nr Probe nr	Antal ml An- zahl ml ml	Perkole- rad regn- mängd Perkoli- erte Re- gen- menge mm	Procent av lokala medel- nederbörden Procent der lokalen Nie- derschlags- mittelwerte %	Prov nr Probe nr
		mm											
		N	S	O	V								
7/12 1951	35,4	14,5		14,5	13,8	0	0	0		0	0	0	
20/12	19,1	14,3		14,2	13,5	0	0	0		0	0	0	
12/1 1952	16,3	13,1	26,1	68	23,8								
10/2	16,2	13,6	25,2	8,5	15,5	0	0	0		0	0	0	
7/4	50,0	17,0		13,8	15,0	550	60,5	395,4	228	0	0	0	
12/4	7,5	14,0		14,1	20,1	0	0	0		0	0	0	
29/4	12,5	4,6	14,0	4,3	6,0	<2,5	<0,3	<4,2		<1	<0,1	<1,4	
11/5	12,0	4,4	14,3	4,6	9,8	0	0	0		0	0	0	
26/5	6,2	0,5	17,5		7,0	0	0	0		0	0	0	
4/7	32,0	5,5	20,4	2,0	20,2	0	0	0		0	0	0	
31/7	43,7	12,8	Full	14,6	18,2	0	0	0		0	0	0	
12/8	46,5	19,3	52,1	18,4	23,2	0	0	0		6-7	0,7	2,1-2,5	
13/9	47,7	22,8	56	22,3	Full	0	0	0		0	0	0	
5/10	61,6	15,8	73,4	8,5	18,5	0	0	0		0	0	0	
14/10	28,6	20,1	32,4	17,0	21,2	6	0,7	3,1	279	0	0	0	
23/10	60,9	Full	85,0	Full	Full	12	1,3	ca 1,5	280	0	0	0	
14/11	34,7	10,8	29,2	11,5	12,5	0	0	0		0	0	0	
7/12	58,8	1) 1) 1) 1)				0	0	0		0	0	0	
17/1 1953	64,0					0	0	0		0	0	0	
25/2	91,0					520	57,2		313	0	0	0	
8/3	0,8					430	47,3		315	0	0	0	
4/4	15,5					0	0	0		0	0	0	
20/5	16,2	8,2	15,0	8,2	10,1	0	0	0		0	0	0	
3/6	29,4	10,2	18,3	11,7	12,3	0	0	0		0	0	0	
25/7	67,8	Full	Full	20,1	18,4	0	0	0		0	0	0	
12/9	101,1	Full	Full	Full	Full	24	2,6	ca 2,9	362	0	0	0	
26/9	29,8	18,4	32,1	17,0	20,2	2	0,2	1,0		0	0	0	
28/10	49,6	Full	42,1	Full	Full	0	0	0		0	0	0	
24/11	10,7	7,4	10,2	7,7	8,5	0	0	0		0	0	0	
S:a	1.065,6					1.546,5	170,1	16,0 %		7	0,7	0,07 %	
S:a/1 år	530,9					57,5	62,8	11,8 %		7	0,7	0,13 %	

vid Rösckär (Sandig grovmo).

bei Rösckär.

Nederbörd i i regnmätare		Lysimeter 3 Djup: 0,4 m Tiefe: 0,4 m				Lysimeter 3 Djup: 0,9 m Tiefe: 0,9 m			
Niederschlags- menge im Regen- messer		Antal ml	Perkolerad regnmängd	Procent av lokala medel- nederbörden	Prov nr	Antal ml	Perkolerad regnmängd	Procent av lokala medel- nederbörden	Prov nr
mm		Anzahl ml	Perkolierte Regenmenge	Procent der lokalen Nie- derschlags- mittelwerte %	Probe nr	Anzahl ml	Perkolierte Regenmenge	Procent der lokalen Nie- derschlags- mittelwerte %	Probe nr
N	O	ml	mm	%		ml	mm	%	
16,8	12,8	10	0,9	4,9	121	15	1,5	10,1	122
8,5	4,3	0	0	0		0	0	0	
6,0	24,8	340	30,6	198,7	151	0	0	0	
10,4	20,5	115	10,4	67,1	169	10	1,0	65	168
	17,0					0	0	0	
12,1	15,2	410	36,9	269,3	230	0	0	0	
3,5	2,5	44	4,0	133,3	236	<0,5	<0,05	<1,7	
1,4	5,8	0	0	0		0	0	0	
0,1	4,5	0	0	0		0	0	0	
7,5	20,0								
16,5	12,8	0	0	0		0	0	0	
21,1	13,7	105	9,5	54,6	262	0	0	0	
22,4	19,1	175	15,8	76,0	263	0	0	0	
15,3	18,8	246	22,1	129,2	278	0	0	0	
12,3	17,4	40	3,6	24,2	281	0	0	0	
20,3	Full	185	16,7	c:a 82,3	282	0	0	0	
7,8	12,0					0	0	0	
		340	30,6		304	0	0	0	
		170	15,3		311	0	0	0	
1)	1)	112	10,1		316	0	0	0	
		308	27,7		317	0	0	0	
		428	38,5		336	0	0	0	
8,8	12,3	0	0	0		0	0	0	
10,4	9,8	0	0	0		235	23,5	232,7	375
12,5	16,8	0	0	0		0	0	0	
Full	Full	275	24,8	c:a 27,3	386	0	0	0	
16,7	19,2	42	3,8	21,1	395	0	0	0	
Full	Full	262	23,6	c:a 52,6	452	0	0	0	
8,4	9,3	0	0	0		0	0	0	
		3.607	324,9	30,5 %		260	26,0	2,4 %	
		1.670	150,5	28,3 %		25	2,5	0,5 %	

ej anses missvisande på grund av för låg årsnederbörd under försöksperioden. Den kemiska analysen av lysimetervattnet gav betydligt större katjonhalter än förf. någonsin påträffat i Bjurforsområdets grund- eller ytvatten. Man skulle därför kunna förklara likheten i grund- och ytvattnets kemiska sammansättning med att ytvattnet går så snabbt ner till grundvattnet att det ej hinner få sjunkvattnets egenskaper. Detta skulle innebära att ytvattnet måste följa sprickor, rotkanaler och dyl. och att det ej passar markskikten på bred front. I avsikt att granska denna åsikts hållbarhet har förf. anlagt lysimeterförsök även på andra platser i Sverige, dels på en nederbördsfattig lokal i Stockholms inre skärgård (Röskär) och dels i det höghumida området i sydvästra Sverige (Jägarhyddan i Wrå förs., Kronobergs län).

4. Lysimeterförsök vid Röskär

Röskärsförsöken äro anlagda i en sandig grovmo och omfattar två grupper med tillsammans fyra lysimetrar (se tab. 32). Även här ha försöksytorna placerats i gläntor, för att trädens direkta inverkan skall bli så liten som möjligt. Vid Röskär påbörjades meteorologiska mätningar först den 1 juli 1952, varför förf. tidigare varit hänvisad till att använda observationerna från Hägernäs meteorologiska station. I fig. 33 ha hägernäsvärdena inritats för hela försöksperioden medan röskärsvärdena införts såsom en prickad linje från nämnda datum. Röskärsvärdena synas i allmänhet ligga något högre än medelvärdena från Hägernäs.

Lokalbeskrivning. Båda försöksplatserna ligga i ett granrikt barrblandbestånd i en svag sluttning på östsidan av ett höjdområde. Sluttningen är dock så långsam att försöken kunna anses ligga på plan mark. Jordarten är sandig grovmo (mekanisk analys nr 42, se tab. 50) med tunna lerlager på 1,8–2 meters djup — utanför lysimeterförsöken ligga dessa lerlager något närmare markytan. Markvegetationen består i bottenskiktet av *Pleurozium Schreberi* y, medan *Deschampsia flexuosa* r och *Majanthemum bifolium* s förekomma i fältskiktet. Markprofil m. m. se kap. II.

Den i Hägernäs uppmätta nederbördsmängden för undersökningsåret är 531 mm. Medeltalet för tiden 1944—1953 är (för Hägernäs) 458 mm. Observationsåret kan således icke anses ha haft onormalt låg nederbörd utan snarare tvärtom. En översikt av de perkolerande mängderna erhålles i följande tabell.

Tabell 33. *Sjunkvattenmängd på olika djup i procent av årsnederbörden.*

Die Sickerwassermenge in verschiedenen Tiefen in Prozenten des jährlichen Niederschlages angegeben.

Årsnederbörd: Järlrlche Niederschlüge 530 mm	Perkolerad mængd i % av årsnederbörden Sickerwassermengen in % des jährllichen Niederschlages			
	Lysimeter 3	Lysimeter 1	Lysimeter 4	Lysimeter 2
	0,4 m	0,5 m	0,9 m	1,1 m
	28,3	11,8	0,5	0,13

Tabell 34. *Sjunkvattnets kemiska sammansättning (Röskär) (mg/l).*

Die chemische Zusammensetzung des Sickerwassers (Röskär).

Prov nr	Lysimeter nr	Djup i m Tiefe	Al	Fe	Na	K	Ca	Mg
228	1	0,5	0,3	0,2	2,8	3,5	2,3	1,5
279	1	0,5	—	—	8,2	4,3	4,3	1,9
280	1	0,5	—	—	3,5	3,9	4,1	2,1
313	1	0,5	0,2	0,1	7,2	5,2	5,7	1,2
315	1	0,5	0,2	0,05	8,1	6,3	9,2	1,5
362	1	0,5	—	—	7,0	5,5	9,1	—
121	3	0,4	—	—	6,3	5,1	4,9	—
151	3	0,4	0,2	0,1	4,9	4,9	5,3	2,2
169	3	0,4	0,8	0,5	4,7	2,8	6,1	1,1
230	3	0,4	0,7	0,3	2,1	7,1	6,5	2,4
236	3	0,4	—	—	2,7	6,0	6,5	—
262	3	0,4	0,2	0,2	9,2	4,9	8,1	1,4
263	3	0,4	0,15	0,1	7,3	5,5	6,2	1,2
278	3	0,4	0,2	0,2	8,1	5,7	7,2	2,1
281	3	0,4	—	—	5,7	5,0	5,2	2,1
282	3	0,4	0,2	0,1	4,9	5,3	7,1	3,1
304	3	0,4	0,8	0,1	6,2	6,1	8,2	2,2
311	3	0,4	0,2	0,2	3,7	3,8	3,1	2,5
316	3	0,4	0,4	0,2	8,7	5,0	3,1	—
317	3	0,4	0,3	0,2	9,3	4,8	4,7	1,4
336	3	0,4	0,2	0,1	2,0	3,5	2,8	2,3
386	3	0,4	0,6	0,2	4,3	8,9	3,9	2,1
395	3	0,4	0,8	0,3	5,7	13,0	6,0	2,7
452	3	0,4	0,4	0,2	2,6	8,7	5,02	3,2
122	4	0,9	—	—	4,7	0,3	—	—
168	4	0,9	—	—	4,1	0,8	1,1	—
375	4	0,9	0,5	0,2	2,0	0,8	2,8	3,1

I Röskär erhålla vi trots lägre nederbörd och finare jordart större perkolering än i Bjurfors. (En likhet med Bjurforsförsöken är dock att på 1,0 meters djup knappast något sjunkvatten erhålles).

En orsak kan vara att man från omgivande, något högre belägna områden — vid stark tjäle — erhåller ytvatten, som rinner ner och lägger sig på det plana område där lysimetrarna ligga, varvid detsamma där så småningom börjar infiltrera. Ytvattensamlingar i samband med snösmältningens begynnelse ha främst iakttagits på försöket med lysimeterrännorna 3 och 4. Andra orsaker till de i förhållande till Bjurfors högre

Tabell 35. *Sjunkvattenmängd på olika djup i procent av årsnederbörden vid Jägarhyddan.*

Die Sickerwassermenge in verschiedenen Tiefen in Prozenten des jährlichen Niederschlages angeben.

Årsnederbörd: Jährliche Niederschläge: 868 mm	Perkolerad mängd i % av årsnederbörden			
	Sickerwassermengen in % des jährlichen Niederschlages			
	Lysimeter 3	Lysimeter 1	Lysimeter 4	Lysimeter 2
	0,60 m	0,65 m	1,10 m	1,15 m
	2,5	0,9	6,7	0,3

Tabell 36. *Lysimeterförsök vid Lysimeterversuche*

Datum	Nederbörd vid Jägar- hyddan	Nederbörd i regnmätare			Lysimeter 1 Djup: 0.65 m Tiefe: 0.65 m				Lysimeter 2 Djup: 1.15 m Tiefe: 1.15 m											
		Nieder- schlagsmenge bei Jägar- hyddan	Niederschlags- menge; im Regen- messer	mm	Antal ml	Perkole- rad regn- mängd	Procent av lokala medel- nederbörden	Prov nr	Antal ml	Perkole- rad regn- mängd	Procent av lokala medel- nederbörden	Prov nr								
													Anzahl ml	Perkoli- erte Regen- menge mm	Procent der lokalen Nie- derschlags- mittelwerte %	Probe nr	An- zahl ml	Perkoli- erte Regen- menge mm	Procent der lokalen Nie- derschlags- mittelwerte %	Probe nr
Datum	mm				mm	mm	mm			mm	mm									
26/10 1952		44,8	67,6	34,4	0	0	0		2	0,2	0,4									
3/11		60,8	56,0	63,6	0	0	0		2	0,2	0,3									
23/11	52,6	27,6	34,4	32,0	0	0	0		0	0	0									
30/11	9,5	13,6		14,8	5	0,4	2,8	325	0	0	0									
14/12	30,5	1)	1)	1)	0	0	0		5	0	0									
28/12	27,0				4	0,3	344	5	0,5		345									
31/1 1953	57,0				5	0,4	353	12	1,1		354									
1/3	58,2				80	6,8	359	0	0	0										
10/5	47,0	20,0	21,6	10,4	0	0	0		10	0,9	5,2	379								
5/6	70,0	56,6	63,2	43,0	0	0	0		0	0	0									
30/6	96,5	53,0	71,6	46,8	0	0	0		0	0	0									
1/8	158,5	116,0	172,0	147,0	0	0	0		0	0	0									
31/8	103,5	116,0	106,0	95,0	0	0	0		0	0	0									
4/10	127,5	114,0	97,0	87,0	0	0	0		0	0	0									
1/11	31,0	24,0	12,0	27,0	0	0	0		0	0	0									
7/12	117,0	92,0	82,0	102,0	0	0	0		0	0	0									
2/1 1954					0	0	0		0	0	0									
S:a	984,8				94	7,9	0,8 %		31	2,9	0,3 %									
S:a/1 år	867,8				94	7,9	0,9 %		29	2,7	0,3 %									

1) Nederbörd ej observerad vintertid.

röskärvärdena kunna bl. a. vara det tunnare humustäcket, den frodigare gräsvegetationen och eventuellt den högre finjordshalten på Röskär, och vidare att den mäktigare råhumusen i Bjurfors absorberar även stora nederbörds mängder, utan att sjunkvattnen bildas.

Den kemiska sammansättningen av sjunkvattnet i Röskär är i stora drag fullt överensstämmande med motsvarande värden för Bjurfors. I sjunkvattnet från Röskär ha även Fe^{tot} , Al^{3+} och Mg^{2+} bestämts. Halterna äro som synes av tabell 34 ganska höga. Som jämförelse må nämnas att analyserna av grundvattenproven från samma område (8 st) gävo följande (minimi- resp. maximi-) värden:

$\text{Al}^{3+} = 0$, $\text{Fe}^{\text{tot}} = 0$, $\text{Na}^+ = 5,0\text{--}10,5$, $\text{K}^+ = 0,4\text{--}0,6$, $\text{Ca}^{2+} = 1,5\text{--}2,5$ och $\text{Mg}^{2+} = 0,7\text{--}1,1$, alla uttryckta i mg/l.

Jägarhyddan. (Sandig grovmo)

bei Jägarhyddan.

Nederbörd i regnmätare			Lysimeter 3 Djup: 0.60 m Tiefe: 0.60 m				Lysimeter 4 Djup: 1.10 m Djup: 1.10 m			
Niederschlagsmenge im Regenmesser			Antal ml	Perkolerad regnmängd	Procent av lokala medel- nederbörden	Prov nr	Antal ml	Perkolerad regnmängd	Procent av lokala medel- nederbörden	Prov nr
mm			Anzahl ml	Perkolierte Regenmenge	Procent der lokalen Nie- derschlags- mittelwerte	Probe nr	Anzahl ml	Perkolierte Regenmenge	Procent der lokalen Nie- derschlags- mittelwerte	Probe nr
N	S	V	ml	mm	%		ml	mm	%	
43,0	20,8	46,0	0	0	0		0	0	0	
51,4	32,0	50,4	0	0	0		27	2,3	5,2	302
38,0	30,4	26,8	0	0	0		0	0	0	
17,2	11,4	18,0	5	0,5	3,2	324	0	0	0	
			0	0	0		0	0	0	
			7	0,6		349	0	0	0	
1)	1)	1)	125	11,3		355	300	25,5		356
			67	6,0		360	72	6,1		361
22,4	20,0	23,2	25	2,3	10,6	380	0	0	0	
47,2	33,0	63,6	0	0	0		0	0	0	
68,8	35,6	74,4	0	0	0		0	0	0	
179,0	73,0	184,0	0	0	0		0	0	0	
102,0	85,0	117,0	0	0	0		275	23,4	23,1	391
920	103,0	126,0	0	0	0		0	0	0	
32,0	29,0	12,0	15	1,4	5,8	442	10	0,9	3,7	443
101,0	76,0	80,0	208	18,7	21,8	450	304	25,8	30,1	451
			16	1,4		452	237	20,1		453
			468	42,2	4,3 %		1,225	104,1	10,1 %	
			244	22,1	2,5 %		684	58,2	6,7 %	

Skillnaderna mellan grundvattnets halter av växtnäringsämnen och sjunkvattnets äro stora, och man kan därmed konstatera att Röskärsförsöken väl stödja den tidigare erhållna uppfattningen att föga vatten perkolerar ned på bred front i skogsmarken. Under en halv meters djup förekomma sålunda även i Röskär endast helt obetydliga mängder sjunkvatten.

5. *Lysimeterförsök vid Jägarhyddan i Wrå*

Två lysimeterförsök förlades till Jägarhyddan, som ligger på gränsen mellan Kronobergs län och Hallands län, just i det höghumida området.

Försöken ligga på samma lilla plåtå som Jägarhyddan själv. Förf:s på ett större fält därinvid belägna regnmätare uppmätte under försöksåret en totalnederbörd av 868 mm, medan meteorologiska stationen Singshult (1 km NV Jägarhyddan) för samma tid anger 1.055 mm. (Årsmedelnederbörden är 1.011 mm). Båda försöken ligga i gläntor och bestå vardera av två lysimeterrännor i en grop. Rännorna 1 och 2 ligga exponerade åt öster och rännorna 3 och 4 åt väster. Gropen med de förstnämnda rännorna är placerad i en glänta med enstaka tallar, någon liten björk och även några små ekar, medan den andra lysimetergropen (med ränna 3 och 4) ligger i en glänta i 30-årig planterad tallskog med spontan gran och enstaka, döda enar.

Markvegetationen på den första försöksplatsen består av *Vaccinium Vitis-idaea* r, *Deschampsia flexuosa* e, *Pleurozium Schreberi* r och *Hylocomium splendens* s. Jordarten utgöres till huvudsaklig del av sandig grovmo (analys 55, tab. 50) med föga ihållande gruslager på en meters djup. Den senare försöksplatsen har i huvudsak ett mäktigt ljungtäck. Här återfinnas icke de små gruslinser, som erhöles i botten på föregående försök. Enstaka stenar förekomma emellertid här och var i det finare materialet.

Jordarten består av sandig grovmo med 3—4 cm mäktig blekjord. Materialet är tämligen homogent och därför lämpligt för lysimeterförsök. I ovanstående tabeller (tab. 35 och 36) äro lysimeterrännornas sjunkvattenmängder angivna.

Trots den höga nederbörden perkolerar mycket litet vatten under sommaren. Under en vecka i juni erhöles nära 75 mm nederbörd, vilken dock absorberades i de övre delarna av markprofilen. Under juli månad uppmättes 158,5 mm i förf:s regnmätare och 200 mm vid stationen vid Singshult; för augusti voro värdena 103,5 resp. 163 mm. Nederbörden visade maximivärden i början och slutet av juli samt i slutet av augusti. I förf:s regnmätare uppmättes aldrig större nederbördsmängder än 20 mm pr dygn. En av de sista dagarna i augusti uppmättes på 1,1 m djup (lysimeter 4) en sjunkvattenmängd motsvarande 23 mm nederbörd, medan övriga lysimetrar icke motagit något vatten (tabell 36). Man kan därför förmoda, att detta vatten ej härrör från nederbörd, som infiltrerat på bred front i marken. Ej heller kan det vara markprofilens jordartstyper, jordmånshorisonter etc. som särställt perkoleringsförhållandena för denna lysimeter från de övriga. Den av allt att döma enda förklaring man f. n. kan ge på detta fenomen är rotdränering

ens inverkan, dvs. att lysimeter 4 matats med vatten genom någon rotkanal. Även för försöksperioden i dess helhet har den största perkoleringsmängden erhållits i lysimeter 4, trots att den ligger djupare under markytan än de övriga med undantag av lysimeter 2, som dock endast ligger 5 cm djupare.

Nederbörden under juli och augusti var betydligt högre än gällande medeltal, vilket tyder starkt på att icke ens inom starkt humida områden någon perkolering till djupet på bred front sker under sommaren, i varje fall ej i sandig grovmo. Vi veta emellertid icke hur förhållandena skulle ha varit på moränmark. Lysimeterförsöken i Bjurfors visa hän på högre infiltrationsvärden för morän än för grovt grus.

En annan intressant iakttagelse är att det i medeltal tagit omkring 14 dagar för nederbördsvattnet att nå 1,1 m djup i marken (lysimeterränna 4). Hastigheten gäller sålunda det fall då nederbörden sannolikt haft möjlighet att följa rotkanaler. Hastigheten på bred front torde vara betydligt lägre. Så snart mera observationsmaterial erhållits kommer förf. att i detalj söka behandla infiltrationens hastighet i olika jordartstyper.

Tabell 37. *Sjunkvattnets och grundvattnets kemiska sammansättning (mg/l).*

Die chemische Zusammensetzung des Sickerwassers und des Grundwassers.

Prov nr	Lysimeter- nr	Djup i m	Na	K	Ca
325	1	0,65	7,9	2,5	1,8
344	1	0,65	6,5	2,6	2,5
353	1	0,65	8,9	2,3	1,5
359	1	0,65	10,1	9,2	1,1
345	2	1,15	8,9	3,5	1,8
354	2	1,15	9,3	0,6	0,1
379	2	1,15	8,2	2,5	2,0
324	3	0,6	9,5	2,0	2,0
349	3	0,6	10,1	8,1	1,9
355	3	0,6	11,0	1,0	1,0
360	3	0,6	10,5	12,8	2,1
380	3	0,6	5,0	2,9	3,2
442	3	0,6	10,0	12,3	8,0
450	3	0,6	11,9	3,0	0,5
452	3	0,6	2,6	8,7	5,0
302	4	1,1	10,3	0,8	1,1
356	4	1,1	8,8	1,0	8,5
361	4	1,1	9,3	0,2	1,7
391	4	1,1	10,0	1,7	0,7
443	4	1,1	9,7	1,2	5,8
451	4	1,1	10,0	0,7	2,1
453	4	1,1	10,9	0,8	2,1
	1/n		9,1	3,7	2,6
Grundvattenanalys (medeltal av 10 analyser)			8,5	0,3	0,8

Analyserna från Jägarhyddan (tabell 37) ge också vid handen att sjunkvattnets katjonhalter genomsnittligt överstiga grundvattnets. Däremot kan man i enstaka fall erhålla tämligen låga halter av framförallt kalcium och även kalium. Varpå detta förhållande beror är ännu för tidigt att yttra sig om. Tendensen synes dock vara att snabb infiltration ger lägre halter. De höga natriumhalterna (i medeltal 9,1 mg/liter) torde till stor del härröra från de saltförande havsvindarna. Även grundvattnet har en hög natriumhalt (medeltalet 8,5 mg/liter), vilket måste bero på närheten till västkusten.

Sammanfattningsvis må framhållas att Jägarhyddans lysimeterförsök ytterligare påvisat dels den stora skillnaden mellan jonkoncentrationerna i grundvatten och sjunkvatten och dels den nästan fullständiga avsaknaden av sjunkvatten på bred front (det sistnämnda trots hög nederbörd).

6. Undersökningar örande klorjonens urlakning i skogsmarken

Av förf:s vattenundersökningar framgår det tydligt att våra vanliga sandig-moiga moräner synas vara nog finkorniga för att förhindra en nedrinning på bred front i marken. Nederbördens nedträngande skulle sålunda vara beroende av naturliga dränledningar såsom rottrådar, av hög block- och stenhalt osv. Den jon som i marken snabbast urlakas är klorjonen, vilken icke adsorberas till markkolloiderna eller i nämnvärd utsträckning upptages av växterna. Klor förekommer dessutom icke i våra vanliga markmineral (med undantag av helt små mängder i apatit, som själv blott förekommer i obetydlig mängd), varför ett nämnvärt nytillskott ej kan uppstå genom vittring under sjunkvattnets rörelse ned mot grundvattnet. Däremot får man nog räkna med att en märkbar klormängd tillföres marken med vindarna från havet. Om nedrinningen på bred front sker synnerligen långsamt, borde klorhalterna i marken vara relativt höga.

För att närmare granska klorjonens vandring genom marken ned till grundvattnet har förf. inom bl. a. Röskär-området tagit jordprov på olika nivåer i marken, lakat ur dessa med destillerat vatten och i den så erhållna vätskan bestämt Cl-koncentrationen.

Provtagningen har tillgått så att hål i marken ned till grundvattnet upptagits med spadborr. I moränjorlar har grävning utförts i stället för borrhning. Utefter borrhålets väggar har med jämna mellanrum uttagits jordprov från bestämda nivåer med en särskilt konstruerad provtagare. Urlakningen av klore har skett på laboratoriet och halten har bestämts och angivits i mg/200 g jord.

Röskärlokalen utgöres av ett plant, 4 m² stort område, som ligger i en skyddad glänta alldeles intill lysimeterförsöken. Jordarten består av en sandig grovmo (analys nr 37, tab. 50). Vegetationen består av *Hylocomium splendens* r. *Pleurozium Schreberi* r. Provtagningen i de tätt intill varandra liggande borrhålen har skett på var 5:te cm. (Varje prov har en skiktjocklek av 3–4 cm). Därefter ha hålen täckts synnerligen väl för att icke släppa ner någon nederbörd. Ett borrhål är endast användbart för en enda provtagning.

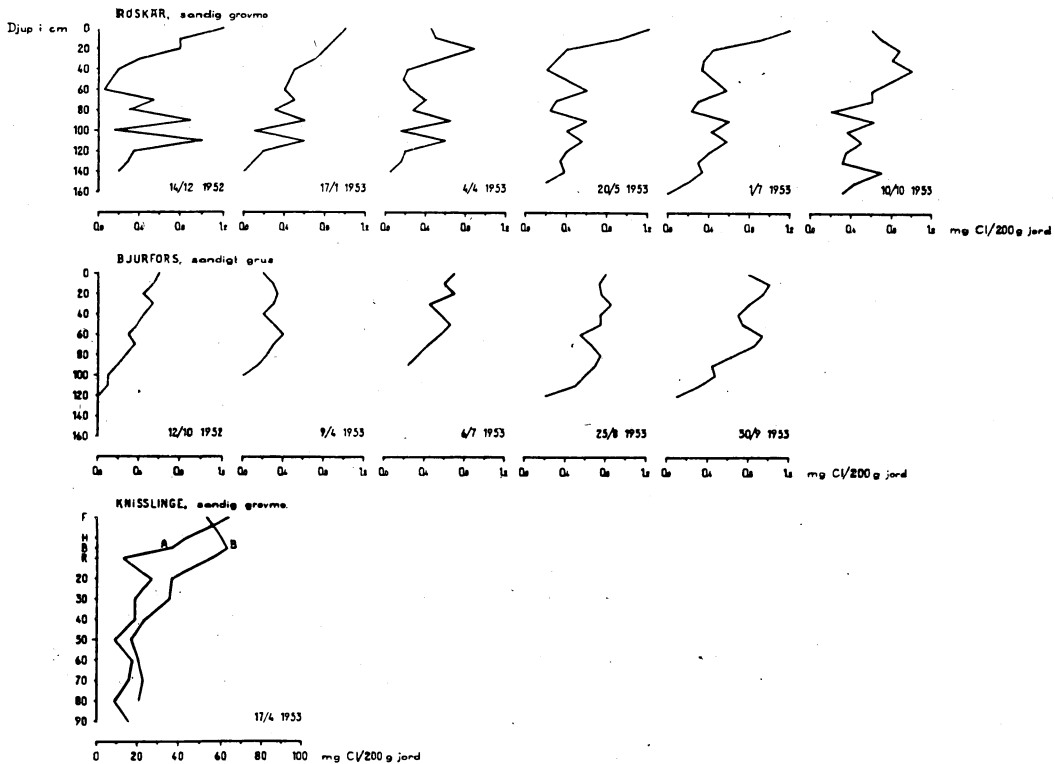


Fig. 22. Klorhaltens variation i en markprofil under en observationstid av ett år.

Die in einem Bodenprofil auftretende Variation des Chlorhaltes während einer Observationsdauer von einem Jahr.

Av diagrammet fig. 22 framgår klorhalten på olika djup vid skilda undersöknings-tillfällen under nära ett år. Tolkningen av dessa halter bör dock göras med en viss försiktighet då provtagningarna skett med förhållandevis långa tidsintervaller. En tydlig anrikning av Cl⁻-joner i ytan har emellertid iakttagits under vintern och sommaren, medan våren och hösten visa en urlakning, som dock ej når långt under markytan. Under 70–80 cm djup synes någon förändring i Cl⁻-halterna ej ske mellan årstiderna. Rös-kär-försöken visa också att halterna på c:a 1,5 m djup närma sig absoluta minimi-värden. På nämnda djup finnas lerlager, varpå grundvattnet rinner. Förf. anser att de låga Cl⁻-halterna längst ner bero på den urlakning som detta silande grundvatten medför i de djupare skikten av den sandiga grovmon.

Ovanför 70 cm djup föreligger, som nämnts, en årstidsvariation. Kurvorna för den 17/1 och 4/4 1953 (och även för den 14/12 1952) visa att vintermånadernas ytanrikning lakas ur vid snöns avsmältning och vårvattnets perkolering, dock endast till c:a 20 cm under markytan. Under sommaren försiggår en ny anrikning i ytan (se kurvorna för den 20/5 och den 1/7), som under hösten åter lakas ur. I samband därmed (se

kurvan för den 10/10) erhåller klorjonkoncentrationen på 40 cm djup, som vid övriga provtagningar varit omkring 0,2 mg/200 g jord, ett maximivärde av 1,0 mg/200 g jord. Först på c:a 75 cm djup är halten åter normal. Kurvan för den 4/4 1953 visar ungefär likartade urlakningsförhållanden med den för oktober 1953. Föregående säsongs kloranrikning i ytan har nu nått några cm under markytan och givit de där befintliga lagren en högre halt än då.

Förf. anser sig med ovan redovisade diagram ha påvisat klorjonens synnerligen långsamma urlakning i marken. Hur lång tid tar det för kloren att nå grundvattnet? Svar härpå kan dock ej givas enbart på grundval av här förelagda data. Av allt allt döma torde man dock våga påstå att klorjonernas vandring på bred front från markytan till grundvattnet (om detta som inom Röskär ligger på 1,5 m nivån) rimligtvis bör taga ett par år i anspråk. Under sådana omständigheter blir också de i de djupaste skikten funna värdena lättare att förstå. Klorhalten tycks längst ner mot leran närma sig ett nollvärde; detta gäller samtliga lokaler, oavsett observationstillfället. Grundvattenytans höjning är säkerligen störst under våren, och den ursköljning, som då sker, är tillräcklig för att vi i dessa bottenlager icke heller under övriga delar av året skola uppnå någon klorjonanrikning.

Förf:s försök att på ovanstående sätt jämföra klorhalter på samma djup gick på Röskär bra inom det begränsade 4 m² området men liknande resultat ha icke på samma sätt erhållits för lokaler som legat långt ifrån varandra. Tänkbart är dock att detta helt eller delvis orsakas av de tunna ler- eller mjälalager som å Röskärslokalen ofta ligga på 0,5—1,5 m djup.

Det har visat sig att klorhalten i markytan under större grenar blir mycket låg. Under block, på gräsmark (till skillnad från husmossvegetation) bli halterna av klor synnerligen växlande. Vid alla dessa undersökningar är det viktigt att provtagningen sker på exakt ett och samma sätt och att generalprovets blandning sker minutiöst noggrant. Klorförsöken synas visa att ett växande skogsbestånd medför synnerligen ojämna perkoleringsförhållanden som kan växla med varje år förmodligen beroende på rötternas nedträngande, uppfrysning av block, sättningar i marken osv.

I fig. 22 ha även klorhalterna i det grova isälvmaterialet vid Dammsjön å Bjurfors kronopark (lokal L₅) medtagits. Lokalen ligger i en helt liten, väl skyddad glänta intill lysimeterförsöken, och borrhålen ha likaså gjorts inom en begränsad yta (c:a 5 m²). Vegetationen inom den lilla ytan utgöres huvudsakligen av *Hylocomium splendens* r, och *Pleurozium Schreberi* r. Resultaten visa att anrikning av klor under vinter och sommar är tydlig. Likaså ändrar sig klorhalten ej nämnvärt under 20—60 cm nivån. I betraktande av att materialet å denna lokal består av grus, där dränaget borde vara effektivare än i Röskärsförsökens grovmo, skulle man faktiskt förväntat en större urlakning av klorjonerna än där. Bjurforskurvorna uppvisa sinsemellan likartade huvuddrag, och framför allt är det slutliga nollvärdet på 1,20 m djup synnerligen karaktäristiskt. Av redogörelsen för lysimeterförsöken å denna lokal framgår att det under snö-

smältningen framkommit grundvatten i groparna, som tydligen sköljt bort klore. En lika effektiv urlakning erhålles icke genom nederbördens perkolering på bred front. Som slutsats för Bjurforsområdet gäller att grusmaterialet, vari diskordanta lager stundom förekomma, endast i stora drag medgiver en långsam perkolering av nederbörden. En klorjons rörelse från ytan ned till grundvattnet (på bred front) kräver måhända något eller några år kortare tid än å röskärslokalen med sin sandiga grovmo och lägre humiditet.

I avsikt att uppnå så höga klorhalter som möjligt uppsöktes ett område i nordöstra Skåne där t. o. m. arida förhållanden ifrågasatts (WALDHEIM 1947). Den av förf. valda lokalen heter Granarväktet och ligger 6 km SO om Knisslinge. Beståndet utgöres av 65—75-åriga granar (bonitet III, höjd 21 m) och är beläget i en mot väster exponerad moränsluttnings, som nedtill täckes av mjåla och sandig grovmo. Mjålan ligger i botten och går vanligen icke i dagen. I den sandiga grovmon (analys 10 tab. 50) undersöktes två profiler, A och B, på var sin sida om en sank sänka. Markvegetationen utgjordes huvudsakligen av *Pleurozium Schreberi* och *Hylocomium splendens* utan fältskikt.

Som synes av figur 22 avtar vid Knisslingelokalerna klorhalten mot djupet liksom i Röskär- och Bjurforsförsöken. I samtliga fall har vid valet av lokal så plana områden som möjligt eftersträfvats. Även i sluttningen vid Knisslinge äro själva de små provytorna alldeles plana. Gemensamt för försöksområdena är dessutom att de lösa avlagringarna antingen äro relativt tunna eller ha ler- och mjålalager på 1 à 2 m djup. I båda fallen har grundvattensilning befordrats, som sköljt ur de understa lagren och därmed åstadkommit de mot djupet avtagande klorhalter. Denna grundvatten-»sköljning» har icke eftersträfvats — snarare tvärtom — men den har varit oundviklig. Uppenbart är att dylika grundvattenströmmar äro synnerligen vanliga i vårt land och betyda mycket för en snabb avrinning av ett nederbördsöverskott. Även om ett skogsbestånd står på en plan mark av morän eller ett jämnt vattensediment med regelbunden lagerföljd, kan den underliggande berghällen vara ojämn eller sluttande. Detta kan betinga växlande hydrologiska förhållanden på dylika lokaler. Den ovan nämnda s. k. grundvattenssköljningen på visst djup är oftast lätt att iakttaga medelst Cl⁻-bestämningar och vittnar om att urlakningen av löslösliga joner även i de grusigare jordarterna är större än vad sjunkvattnet på bred front kan åstadkomma.

Antagandet om höga Cl⁻-halter inom nordöstra Skåne styrkes i hög grad genom Knisslingeförsöken. Här förekomma halter på ända upp till 64 mg/200 g jord, vilket vid full vattenmättnad skulle åstadkomma 2—3 g Cl⁻ per liter sjunkvatten. Så höga halter förekomma främst i humustäcket. De äro anmärkningsvärda; givetvis är det tänkbart att såväl östersjö- som atlantvindar ha orsakat dem; förvånansvärt är i så fall dock att större skillnader ej föreligga mellan Röskär och Bjurfors. Högsta kustlinjen, som är högsta gräns för förekomst av i havet avsatta sediment, synes ej ha haft någon större betydelse för klorems förekomst, vilket framgår dels av Knisslingeförsökens höga halter

i relation till de båda andra lokalerna och dels av de extrema värdena överst i markprofilen. Förf. har här endast flyktigt berört ett mycket intressant och betydelsefullt markproblem, som helst borde vidare bearbetas. Det finns i södra Sverige många områden, där jämvikt nära nog råder mellan nederbörd och avdunstning, och där avrinningen är minimal. Förf. har med klorbestämningarna kunnat påvisa att vi i ett slutet granbestånd av högsta bonitet med hög vattenförbrukning får helt liten avrinning, som dessutom söker sig ned till en nivå där lera, mjåla eller berghäll bilda ett »golv». Det vatten, som följer rötterna, når måhända snabbt ned till grundvattnet ovan »golvet» men på bred front nå blott minimala mängder vatten ned och det helt långsamt.

7. Markvätskans kemiska egenskaper

Såväl lysimeterförsöken som försöken med klorjonens urlakning visa enstämmigt hän på att det i marken endast är en liten mängd sjunkvatten som på bred front når grundvattnet. Sjunkvattnet har en betydligt högre katjonkoncentration än yt- och grundvattnet. Höga jonkoncentrationer i sjunkvattnet kunna förklaras med att så stor nederbörd, som behöves för att tränga djupt ner i mineraljord, icke förekommer så ofta. Följden blir temporärt en viss anrikning av lösliga salter, vilka dock vid rikliga regn sköljas ner till djupare lager. Därför erhåller den markvätska, som i normala fall finnes i hålrummen mellan mineralpartiklarna och som endast vid extrema nederbördsförhållanden blir verkligt sjunkvatten, en tämligen hög halt av näringsämnen till skillnad från det sjunkvatten, som passerar genom rotkanaler, utefter hållar, större block etc. Om det är riktigt att det i vår skogsmark förekommer ett ytvatten, som överensstämmer med grundvattnet betr. den kemiska sammansättningen, bör detta vara liktydigt med en snabb perkolering — såsom tidigare framhållits — vilken försiggår utefter vissa väl lokaliserade dräneringsbanor ända ner till grundvattnet.

Den del av sjunkvattnet, som ytterst långsamt perkolerar ner på bred front genom marken kan, förutom genom lysimeterförsök, även studeras laboriemässigt. Fördelen med den senare metoden är att den mer eller mindre oregelbundna nederbördsfaktorn kan elimineras. Det vatten, som är av speciellt intresse är givetvis allt fritt vatten och allt bundet intill den s. k. vissningspunkten. Denna punkt svarar mot en vattenhalt i jorden, som är det gränsvärde, under vilket jorden ej längre kan leverera något vatten till växtrötterna. (Jfr. EKSTRÖM 1938.) Teoretiskt sett är det möjligt att borttaga allt det vatten, som finns i en jordart intill gränsen för vissningspunkten.

Vattnets borttagande ur en jordart förmedelst undertryck i förening med mätande av den kraft, som åtgår för att bringa jordarten till en viss, lägre fuktighetshalt är möjligt att uttrycka med den SCHOFIELDSKA (1935) funktion »pF». pF definieras — i analogi med pH — såsom en logaritm, nämligen logaritmen för den vattenpelare i cm, som motsvarar det tryck som erfordras för att borttaga vatten i en jordart. Beroende på porernas storlek och fördelning i jordar av olika kornstorlek förmå dessa kvarhålla

olika vattenhalter. I en vanlig morän kan porfördelningen variera inom vida gränser. En morän äger en viss genomsläpplighet tack vare sina grövre fraktioner och samtidigt en rätt stor förmåga att kvarhålla kapillärvatten på grund av sin finjordshalt. Genomsläppligheten gör att den kan taga emot större nederbördsmängder utan att det bildas en vattenmättad yta. (Jfr kap. VI: 2.) Den kapillära porvolymen är samtidigt tillräckligt stor för att förhindra en omfattande urlakning.

Avvattningskurvor för några olika jordarter äro sammanställda i diagrammet i fig. 23. Jordarterna utgöra dels av en sandig-grusig morän,¹⁾ dels en sandig-moig morän,²⁾ (normal morän från Bjurforsområdet) och av dels en lätt mellanlera.³⁾ För erhållandet av pF-värden har undertryck med vattensug använts för pF 0—3, mellan pF 3—4 centrifugering och däröver mätningar av den hygroskopiska vattenhalten vid olika ångtryck. Utmed abscissaxeln äro vattenhalterna angivna i procent av jordartens torrsvikt, utmed ordinataxeln pF-funktionen.

Fördelen med ett dylikt diagram är att man får en uppfattning om en jordarts vattenkvarhållande, resp. vattenavgivande egenskaper inom hela området mellan mätning och vattenfrihet. Utmed ordinataxeln har också en del vedertagna vattenklasser samt vissningspunkten angivits.

Sålunda betecknar fältkapacitet den fuktighetshalt, som en jordart har då grundvattnet sjunkit undan, medan den kapillära vattenrörelsen är mycket liten. (VEIHMEYER och HENDRICKSON 1931).

I realiteten är definitionen av fältkapaciteten synnerligen växlande, namnet säger ungefär vad man eftersträvar. Ett flertal definitioner ha givits. Sålunda skulle fältkapaciteten vara den fuktighetshalt som en jord har, bestämd 1—5 dygn efter ett regn (PURI 1949 s. 341). Man kan även definiera fältkapaciteten såsom den vattenhalt en jord har i en viss punkt då jorden står i kapillär förbindelse med en fri vattenyta (grundvattenyta) 5 meter under punkten ifråga, vilket motsvarar $pF = 2,7$. I så fall ligger fältkapaciteten ytterst nära den s. k. fuktighetsekvivalenten (moisture equivalent), som definieras som den fuktighetshalt, som en mättad jord förmår kvarhålla gentemot en centrifugalkraft, som är 1.000 ggr tyngdkraften. VEIHMEYER och HENDRICKSON (1931) ansågo att fuktighetsekvivalenten var nära nog identisk med fältkapaciteten för moiga jordar men icke för sandjordar. WORK och LEWIS (1934) menade att de aktuella fuktighetsförhållandena voro så föränderliga att man icke kunde allmängiltigförklara de båda föregående forskarnas resultat. Vi få i detta arbete nöja oss med att närmare granska de båda begreppens tillämpning på våra egna normala moräner.

Förf. har funnit att fältkapaciteten i närheten av pF 2,5—2,9 utgöres av en fuktighetshalt, som ofta är förekommande i skogsmarken 20—30 cm under råhumustäcket i normal skogsmark under vegetationsperioden. Fuktighetshalten brukar på detta djup vanligen ligga mellan 3—8 %. För att perkolering skall kunna ske på bred front bör vattenhalten vara c:a 13 %. I fig. 23 är den vattenhalt, som en moränjord har, då sjunkvatten uppstår, något schematiskt angiven. Det är icke möjligt att erhålla exakt

¹⁾ Analys 46. ²⁾ Analys 47. ³⁾ Analys 48. Samtliga analyser, se tab. 50.

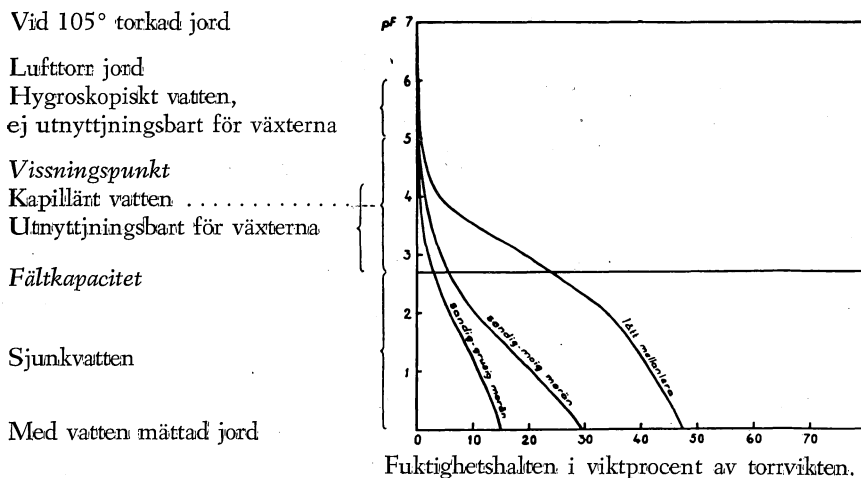


Fig. 23. Avvattningskurvor för lätt mellanlera; sandig-moig morän samt sandig-grusig morän.

Wasserentzugskurven für sandig-feinsandige Moräne und sandig-kiesige Moräne.

likartade avvattningskurvor i fråga om sandig-moiga moräner, varför begreppet fältkapacitet för sådana jordarter icke får betraktas som en bestämd punkt på avvattningskurvan. I detta arbete har det ansetts mest ändamålsenligt att behålla begreppet fältkapacitet och därmed avse den fuktighetshalt som en jord har vid den punkt då perkoleringen på bred front just *begynner*.

Vid upprepade laboratorieförsök med Bjurforsmoränerna har det visat sig att perkolering på bred front tidigast begynner vid en vattenhalt av 10 % av torrvikten för en sandig-moig morän. Medelvärde är dock ca 13 %. För en grusig morän äro förhållandena icke lika bestämbara. Grushalten är av väsentlig betydelse för perkoleringen. Den inritade kurvan i fig. 23 antyder endast den tendens, som hittills utförda försök visat. Morän behöver således endast vara mättad till drygt 1/3 av den totala vattenkapaciteten (jfr HALDEN 1926, s. 162, WITTICH 1938), för att en perkolering skall komma till stånd. Vi få tillfälle att återkomma till dessa problem i nästa kapitel där infiltrationen närmare skall behandlas. — Det kapillära vattnet förekommer i marken även sedan vissningspunkten uppnåtts, ehuru det vid halter, lägre än denna punkts, ej kan utnyttjas av växterna. Vissningspunkten är lika litet som fältkapaciteten en fullt bestämd punkt, den varierar för olika växtslag, men ligger vanligen omkring $pF = 4$. De vattenmängder, som finnas i moränjordarna vid ett pF av c:a 4 äro emellertid så små att de knappast äga någon betydelse för vegetationen. Felen, som göras genom att sätta vissningspunkten i våra normala skogsmarker lika med 4,2 äro därför mycket små. Det Schofieldska diagrammet visar — vid kurvornas projektion på abskissan — att den vattenmängd en morän förmår hålla tillgänglig för växterna ovan fältkapaciteten är många gånger mindre än lerjordens. De i diagrammet angivna kurvorna äro emellertid icke

Tabell 38. *Det med övertryck utpressade vattnets kemiska sammansättning i en sandig-moig morän.*

Die chemische Zusammensetzung von Wasser, das unter Anwendung von Überdruck aus einer sandig-feinsandigen Moräne ausgepresst wurde.

Jordart: Sandig-moig morän (2,4 kg), 275 meter öster Gavelmossen, Bjurfors Kronopark.

Mekanisk

analys (mm) 20-6 6-2 2-0.6 0.6-0.2 0.2-0.06 0.06-0.02 0.02-0.002 0.006-0.002 0.002
i vikts- 13 8 17 17 21 16 3 3 2
procent

Analys nr	κ 20°C:10-6	K mg/lit	Na mg/lit	Ca mg/lit	Cl mg/lit
260	194	3,0	8,7	21,8	13,2
265	119	2,7	9,3	9,6	11,7
277	68	2,5	9,2	8,1	5,2
312	77	2,2	6,4	8,4	5,1
333	92	2,7	6,4	8,1	3,5
348	80	2,2	7,3	6,3	2,1
358	95	2,8	7,4	7,7	0,1
364	96	3,2	4,8	10,4	0
366	80	2,0	4,6	9,6	0,1
371	78	2,5	4,8	8,2	0
372	65	2,7	3,6	5,4	—
374	88	2,0	5,8	8,2	—
388	123	3,0	8,4	12,2	—
431	89	2,0	9,3	8,3	—
432	96	2,0	9,3	6,0	—
433	89	2,3	9,8	5,3	—
434	79	2,2	9,9	8,3	—
435	83	2,3	9,6	7,9	—
436	85	2,0	9,9	5,0	—
437	79	3,2	8,3	8,8	—
438	93	2,1	8,5	9,0	—
439	92	2,9	9,1	8,7	—
440	65	2,8	9,2	2,0	—
441	85	2,0	9,3	8,0	—
444	73	2,6	10,8	3,8	—
445	80	2,4	10,7	4,3	—
446	89	2,9	8,4	9,8	—
447	81	2,5	9,5	5,3	—
448	82	2,0	2,0	4,4	—
Grundvatten	35	0,4	3,5	1,6	—

entydiga. Man erhåller nämligen något olikartade kurvor beroende på om man arbetar med avvattning eller med uttorkning.

För att kunna framtaga markvätskan ur ett jordprov har jag utgått ifrån en med vatten mättad jord och har sedan successivt tagit bort vatten, dels genom undertryck med vattensug och centrifugering och dels genom övertryck i tryckkammare (se nedan). Man kan givetvis också med s. k. tensiometrar successivt tillföra vatten till jorden — något som betydligt mera liknar fältförhållandena. Nackdelen med denna senare metod är emellertid att man i så fall praktiskt taget icke har möjlighet att studera den kemiska sammansättningen av den erhållna markvätskan. För ett sådant ändamål är RICHARDS (1941) pressmembranmetod (se kap. I:1) betydligt lämpligare. Fördelen med denna metod är att man kan utgå från ett par kilo jord och sedan på ett enkelt sätt pressa ut vattnet ända till vissningspunkten. För jordprovets mättnad med vatten (innan de pressats) har dessa placerats efter skakning och siktning (2 mm såll) i en büchnertratt, där destillerat, kolsyremättat vatten underifrån kapillärt sugits upp i jordproven. Proven ha sedan placerats i tryckkammaren (se fig. 1).

Nedanstående försök vill visa ett jordprov pressat vid $pF = 2,7$ (dvs. provet pressades tills vattenhalten blev 5 %). Pressningar utfördes med ett och samma moränprov upprepade gånger. Mellan varje gång tilläts jordprovet upptaga fuktighet till full mättnad. Avsikten med försöket var att laboratoriemässigt erhålla ett sjunkvatten som passerat jorden på bred front.

Jordarten, som utsattes för inalles 29 pressningar utgjordes av en sandig-moig morän — en normal morän från Bjurforsområdet. Moränen togs på 85 cm djup i C-horison-ten. Efter varje pressning fick moränen upptaga fuktighet så nära full vattenkapacitet som möjligt (c:a 30 viktprocent). Pressningarna utfördes med ett tryck motsvarande $pF = 2,7$. Fuktighetshalten efter varje pressning var 3—5 viktprocent. Att mellan varje pressning låta jorden taga upp fuktighet till full vattenkapacitet var tämligen omständligt att genomföra. Detta tog ca 1—2 dygn i anspråk.

Resultaten av pressningarna (tab. 38) visa att trots 29 pressningar erhöles tämligen likartade halter. Som jämförelse med de i tab. 38 angivna analysvärdena har även ifrå-

Tabell 39. Mängden lättillgängligt Na^+ , K^+ och Ca^{2+} i en sandig-moig morän (elektrodialyserad).

Die Menge von leichtzugänglichem N^+ , K^+ und Ca^{2+} in einer sandig-geinsandigen Moräne (elektrodialysiert).

<i>Bjurforsmoränen</i> 2,4 kg sandig-moig morän innehåller av lättillgängligt:	Na	K	Ca
	288 mg	355 mg	804 mg
m. e./100 g jord	0,520	0,377	0,832

Tabell 40. *Sambandet mellan pF och koncentrationen av olika katjoner i en sandig-moig morän.*

Beziehung zwischen pF und Konzentration bei verschiedenen Katjonen in einer sandig-feinsandigen Moräne.

2,4 kg sandig-moig morän har pressats vid olika pF varvid följande jonkoncentrationer erhöles (mg/liter).

Analys nr	pF	pH	Na	K	Ca
453	1,8	7,1	10,9	3,8	34,2
454	1,9	7,1	7,9	3,5	24,5
455	2,1	7,2	10,5	3,2	31,0
456	2,4	7,3	8,5	3,2	39,2
457	2,7	7,3	10,0	3,2	40,7
458	3,0	7,4	10,9	3,7	44,5
459	4,0	7,4	8,5	3,5	46,0
Medeltal			9,8	3,5	32,8

gavarande Bjurforsmorän elektrodialyserats, varvid det varit möjligt att bestämma totala mängden lättillgängligt Na^+ , K^+ och Ca^{2+} .

Av tabell 38 framgår att det sjunkvatten, som på bred front pressas genom C-horisonten (och som sålunda borde vara likvärdigt med det naturligt perkolerande sjunkvattnet) får koncentrationer av metallkatjoner, som vida överstiger grundvattnets. Halterna äro t. o. m. synnerligen höga i början för att sedan avtaga till ett tämligen konstant värde. Koncentrationerna skilja sig väl från lysimetervärdena från Bjurfors (och även från andra lokaler) även om skillnaderna stundom icke äro alltför stora.

Förf:s tidigare uppfattning om nederbördsvattnets perkolering i marken bestyrkes av ovan erhållna resultat. Om sjunkvattnet sålunda icke utnyttjar rotkanaler etc. bör grundvattnet få så höga näringshalter att det med lätthet skulle förmärkas genom relativt höga analysvärden. Sådana höga värden ha emellertid aldrig erhållits, varför det är synnerligen troligt att en rörelse av sjunkvattnet på bred front ända ned mot djupet är sällan förekommande.

Tabell 39 visar att det är en förhållandevis ringa del av den totala halten lättillgängliga joner som har pressats ut. Dessutom visa antalet milligramekvivalenter pr 100 g jord tämligen höga värden, som icke skulle kunna förefinnas, om en ständig urlakning verkligen ägde rum.

Vid utpressning av markvattnet i en sandig-moig morän erhöles i tabell 38 vid första försöket (prov 260) för K^+ , Na^+ och Ca^{2+} resp. 3,0, 8,7 och 21,8 mg/liter (utgånsvikten på jorden var 2,4 kg). Sker pressningen vid olika pF-värden, och den därvid erhållna markvätskan analyseras, fås de värden, som återges i tab. 40.

Medeltalen i ovanstående tabell ha erhållits genom att först beräkna totalmängden

av jonslaget ifråga och sedan uttrycka denna mängd i mg/liter med hänsyn till den totala, använda vattenmängden. Tabell 40 visar att medeltalen för de olika jonslagen ligga helt obetydligt över de i prov 260 (tab. 38) erhållna värdena pr viktsenhet jord räknat.

Vad som är synnerligen intressant är den konstanta halten av kalium och natrium medan kalcium ökar märkbart vid höga tryck och lägre vattentillgång. En utspädning av markvätskan ger m. a. o. låga Ca^{2+} -värden. Orsaken här till kan förklaras med den s. k. Donnan-jämvikten.

En kolloidpartikel med omgivande dissocierade och diffunderbara joner jämte tillhörande vatten kallas för en micell. Den till micellen hörande vätskan kallas för micellarvätskan eller kolloidens innerlösning, till skillnad från ytterlösningen, som omger hela kolloidpartikeln. Vid utspädning (jfr WIKLANDER 1946 s. 41) minskar ytterlösningens koncentration snabbare än innerlösningens, beroende på den senares begränsade volym.

För detta fall kan Donnan-jämvikten i ord uttryckas således: Produkten av en elektrolyts jonaktivitet uti ett system är över allt konstant. Joner med högre valens än envärda måste uttryckas som rotuttryck, korresponderande med deras valens. Uppställdes därför Donnans ekvation för t. ex. kalcium och kalium i ovannämnda system fås följande:

$$[\text{K}]_y : [\text{K}]_i = \sqrt{[\text{Ca}]_y} : \sqrt{[\text{Ca}]_i}$$

Jonernas aktivitet är betecknad med klammer, y = ytterlösningen, i = micellar- eller innerlösningen. Vid utspädning kommer kvoten mellan de tvåvärda jonernas koncentration att öka snabbare än för de envärda, detta framgår även av att aktiviteten är ett rotuttryck (vid stark utspädning är den = koncentrationen). I systemet uppstår en strävan att återställa den störda jämvikten, som får till följd en ökning av kvoten mellan $\frac{(\text{M})_i^{2+}}{(\text{M})_i +}$. Följden blir

en ökning av de tvåvärda jonerna i innerlösningen. Med andra ord: Vid utspädning bör de envärda jonerna öka i sjunkvattnet, medan vid minskad urlakning tvåvärda joner böra öka. (Valenseffekter vid urlakning har genom experiment påvisats av BURGESS (1922) och HIRSHARD (1923).

MATTSONS (1942) lysimeterförsök i laboratoriemässig skala verifieras av förf:s försök så tillvida att katjonhalterna äro som regel högre än i Bjurfors grundvatten. Å andra sidan erhåller MATTSON för aluminium och järn halter som nämma sig ytvattnets halter. Det är måhända tänkbart att vattnet i MATTSONS försök icke perkolerat på bred front utan delvis rört sig i »dräneringsbanor». Det hade varit värdefullt om han även medtagit C-horisonten. Han avsåg emellertid blott att studera fastläggningen i B-horisonten, varför så ej blev fallet.

Resultaten av mina laboratorieförsök visa att det på bred front perkolerande vattnet får högre halter av joner än grundvattnet i normal, svensk skogsmark. Det har icke i något fall inträffat att jag vid mina provtagningar av grundvattnet under hela året påträffat katjonkoncentrationer jämförbara med de i tab. 38 angivna. Uppenbart är att det snabbt perkolerande regnvattnet aldrig uppnår så höga halter, varför jag hävdar att mina tidigare iakttagelser i fältet rörande vattnets rörelse i marken med dessa laboratorieexperiment ha blivit styrkta.

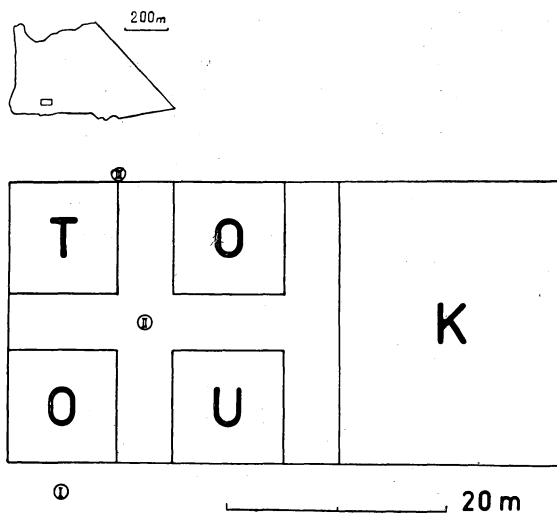


Fig. 24. Gödslingsförsökens anordning å Mölna försöksfält.

T = Parcell gödslad med N, P, K, S, Ca, Mg, Zn, Mo.

O = Ogödslad parcell.

U = N-gödslad parcell.

K = K-gödslad parcell.

I, II, III = Grundvattenbrunnar.

Anordnung der Düngungsversuche auf dem Versuchsfeld zu Mölna.

T = Parzelle gedüngt mit N, P, K, S, Ca, Mg, Zn, Mo.

O = Ungedüngte Parzelle.

U = N-gedüngte Parzelle.

K = K-gedüngte Parzelle.

I, II, III = Grundwasserbrunnen.

8. Gödslingsförsök på Mölna försöksfält.

a) Försöksbetingelser.

De förhållandevis få gödslingsförsök, som gjorts inom svensk skogsmark, ha i de allra flesta fall varit inriktade på studier av den skogliga produktionseffekten eller åtminstone av en tillväxtökning av principiell betydelse. Det är då helt naturligt, att man icke i detalj studerat de tillförda, lösliga näringsämnenas rörelser i skogsmarken. Förf. har emellertid gjort vissa »gödslingsförsök», uteslutande i akt och mening att söka följa till marken tillförda katjoners rörelser ända ned till grundvattnet.

De »gödslingsförsök» som här skola beskrivas, förlades till Mölna försöksfält¹⁾ invid Vaggeryd, där förutsättningarna att studera olika tillförda näringsämnenas urlakning äro synnerligen gynnsamma. Tack vare den grova isälvssanden (stundom grusig) har jorden en låg adsorptionsförmåga för metallkatjoner; det är vidare förhållandevis en-

¹⁾ Genom välvilligt tillmötesgående från Statens skogsforskningsinstitut kunde dessa försök läggas å detta försöksfält, där docent C. O. TAMM vid avd. f. botanik och marklära samtidigt lade ut gödslingsförsök.

kelt att taga upp markprofiler med spådborr, och framför allt är grundvattennivån tämligen stabil, reglerad som den är av omgivande vattendrag, och når aldrig upp till rostjorden. Försöken på Mölna avsåg att så allsidigt som möjligt följa urlakningen av de metallkationer som tillfördes. För att få mått på den kvantitativa nertransporten av näringsämnen till grundvattnet utlades till jämförelse obehandlade »0-ytor». Med hjälp av en vanlig spådborr (18 cm diameter) ha jordprov på bestämda djup kunnat tagas från markytan ända ner till grundvattennivån. Dessutom ha prov på grundvattnet sugits upp under varje profil. Jordproven ha omedelbart efter provtagningen embalrats i plastduk för att bevara sin fuktighet.

Genom att proven från de olika horisonterna måste vara ganska stora, har icke hela profilerna kunnat undersökas. Prov ha sålunda uttagits blott ur följande lager: förnan, råhumusen, blekjorden, rostjorden, underlaget vid 0,4–0,6 m, 0,9–1,1 m, 1,4–1,6 m och strax ovan grundvattenytan. Det har tyvärr icke kunnat undvikas att blekjorden blivit något blandad med humus och rostjorden med något blekjord. Den senares medelmäktighet uppges av C. O. TAMM (1947) för hela försöksfältet till c:a 3,3 cm. Vid provtagningen av rostjorden är det i huvudsak den övre, mera humösa B₁-zonen som insamlats. Då övergången till den ljusare B₂-zonen är diffus, har även här en fullt skarp åtskillnad av skikten vid provtagningen icke kunnat ske. Dessutom är det icke alltid möjligt att urskilja dessa tvenne zoner inom rostjordshorisonten, som också nedåt är ytterst svagt limonitfärgad. O. TAMM (se C. O. TAMM 1947 s. 21–22) anger 30–50 cm som variationsbredd för hela B-horisonten. Jag har använt 40–60-cm nivå för provtagning av C-horisonstens översta del. En avsevärd humushalt i rostjorden (C. O. TAMM 1947 s. 21) gör att Mölna-fältets markprofil får betraktas som en *järnhumuspodsol*, dock icke ur genetisk synpunkt jämförbar med den i övre Norrland vanliga järnhumuspodsolen, som är betingad av högt grundvattenstånd (O. TAMM 1931 s. 198).

b. Gödslingsytornas läge inom försöksfältet, dess trädbestånd och markvegetation.

För Mölnafältets läge, klimat och geologi hänvisas till beskrivningen av fältarbetsområdena i kap. II.

De parceller, där förf. utlade sina gödslingsförsök, ligger i fältets sydvästra del enligt fig. 24. Som försöksyta utvaldes en så gott som plan yta med så likartad vegetation som möjligt. En indelning i fyra 100 m² parceller och en yta om 500 m² mättes in med breda mellanrum i enlighet med fig. 24. Gödslingsförsöket utlades 23–25 april 1951. På grund av att snön ännu låg kvar i stora drivor var det möjligt att sprida de flesta gödslingsgivorna i torrt tillstånd på snön.

Normalt har Mölnafältet i slutna bestånd en mossrik markvegetation med lingonris och ibland blåbärsris dominerande i fältskiktet. Ljung och lavrik vegetation kommer in så snart det blir en utglesning, medan man i mycket slutna bestånd erhåller enbart mossor utan fältskikt. Innan försöksparcellernas växtsamhällen behandlas, skall i korta drag redogöras för de åtgärder, som utförts alltsedan fältet kalavverkades 1918. Historiken är sammanställd efter C. O. TAMM (1947).

Före kalavvenkningen 1918 utgjordes enl. ROMELL (vegetationsanalys, se C. O. TAMM 1947 s. 24) det rådande skogssamhället av en lingonrik grantallskog med bottenskikt av *Pleurozium Schreberi* och *Dicranum undulatum*. För övrigt ansågs marken vara särskilt svag (svag bonitet V i Jonsons system) jämfört med de flesta andra grus- och sandmarker i södra och mellersta Sverige. Första kulturen (ca halva fältet) företogs 1922. Strax förut markbereddes vissa stora band med fjäderharv, sedan ris och skrädstickor samlats i högar. Där råhumusen var tunn blev markberedningen effektiv, men kring stubbar och mellan och under rishögarna förekom ingen harvning. Efter harvningen breddes riset åter ut, medan skrädstickorna fick ligga kvar i sina högar. Förf:s yta kom att ligga inom ett bälte som planterades med tvåårig gråal i 3,2 meters förband (sålunda ett fåtal plantor på varje gödslingsparcell, max. 16 st) och tall i 1,2 m förband (dvs. inalles 6.000 plantor per ha). Det visade sig att gråalen frös ganska snabbt ned och dog ut. Den har således icke i nämnvärd grad kunnat inverka på marktillståndet. Tallen däremot gick bra till i början, men luckor uppstod och hjälpkultivering sattes in. Efter en längre tid började tallplantorna på vissa fläckar visa tecken på näringsbrist (liksom även granarna) och blevo gulgröna, kortbarriga och växte mycket långsamt eller icke alls.

Vårarna 1926 och 1930 skedde hjälpplantering med tall i då befintliga luckor. I samband med hjälpkultiveringen 1926 hyggesrensades hela fältet. Vid slutrevisionen 1941—42 levde endast en mindre del av de vid hjälpkulturerna utsatta plantorna, och oftast hade de ej uppnått någon större höjd. Någon självsådd finnes av både tall och gran och även av björk.

I anslutning till kalavverkningen 1918 blev ökad ljustillgång, mindre luftfuktighet, starkt växlande temperaturförhållanden etc. orsak till att blåbärsriset och husmossorna (*Hylacomium splendens*) dog ut. En del växter gick tillbaka, stagnerade men började senare åter öka. Detta gällde framför allt väggmossan (*Pleurozium Schreberi*) och lingonriset och i någon mån även kvastmossan (*Dicranum Undulatum*) som dock haft svårare än de båda andra att anpassa sig. Vidare finnas växter, som direkt gynnats av kalhuggningen, nämligen ljungen och renlavarna (*Cladonia rangiferina* och *sylvatica*). Bägarlavarna ha också brett ut sig starkt. Ytterligare växter, som gynnades av kalhuggningen äro kråkbär (*Empetrum nigrum*), mjölon (*Arctostaphylos uva ursi*), kruståtel (*Deschampsia flexuosa*) och mjölke (*Chamaenerion angustifolium*).

Den nuvarande vegetationen på försöksytorna består dels av ett område kring »II» (se fig. 24) med enstaka tallar, där ljustillgången givit upphov till större fläckar med ljung. Detta område är ca 6—7 m i diameter. Vegetationstypen är växelvis lavrik ljungtyp och lavrik lingontyp. Inom det övriga området av förf:s försöksytor är den mossrika lingontypen med enstaka fläckar, där ljungen förekommer ymnigt, den vanligaste skogstypen. Mossorna representeras av *Dicranum rugosum* och *Pleurozium Schreberi*. Trädvegetationen består av ett tämligen jämnt bestånd av tallar med enstaka björkar och granar.

Snön var icke mäktigare än att den kom att avsmälta på platsen, och då tjäle praktiskt taget saknades inom försöksområdet, behövde man icke räkna med att givorna av de i torrt tillstånd spridda näringsämnen runno bort i ytvattnet, utan de nådde humustäckets i mer eller mindre löst form. Redan under de få dagar då gödslingsförsöken utlades avsmälte snön märkbart. På de bara fläckarna blev främst ljungen en smula bränd av kvävegivorna. Detta syntes framför allt i augusti då provserier togs på de olika provytorna.

För att underlätta en jämn fördelning av givorna delades varje parcell upp i små-parceller. Trots detta kan man icke komma ifrån att de tillförda näringsämnena på enstaka fläckar måhända ej blevo fullt jämnt spridda. Den östligaste ytan erhöll en övergödning av kaliumklorid och försöker var delvis avsett att studera K^+ -jonens urlakning. Av olika anledningar fullföljde jag icke detta försök. Däremot ingår ytan fortfarande i de gödslingsförsök, som bedrivs av docent C. O. TAMM vid Stat. Skogsforskningsinst.

De övriga ytorna gödslades på sätt som följer: en kväve-yta (u), en fullgödslings-yta (totalyta) med K, Ca, P, N, Mg, Zn, Mo samt tvenne 0-ytor utan gödning alls såsom jämförelse. Den inbördes fördelningen mellan de olika ytorna skedde genom lottning, och resultatet framgår av fig. 24. Kväveytan erhöll 5 kg ureaform, som innehåller 10 % N. Givan motsvarar 50 kg N/ha.

Total-ytan erhöll följande mängder av de olika ämnena:

NH_4NO_3	motsvarande	50 kg N pr hektar,
KH_2PO_4	„	62 kg K och 50 kg P pr hektar,
$CaSO_4 \frac{1}{2}H_2O$	„	100 kg Ca och 80 kg S pr hektar,
$MgCO_3$	„	13 kg Mg pr hektar,
$ZnCl_2$	„	22 kg Zn pr hektar,
MoO_3	„	4 kg Mo pr hektar.

c. Observationer av grundvattenståndet under försöksperioden.

Då det gäller grundvattenståndsmätningar får man vara försiktig vid tolkningen av de erhållna värdena. Genom att väl känna till infiltrationsområdets storlek och genomsnittliga kornstorleksfraktionen för jordarten inom området ifråga, äger man dock vissa möjligheter att kunna utläsa en viss nederbörds mängds förmåga att höja grundvattenytan. Grundvattenståndet är merendels ett resultat av det underifrån tryckande vattenmagasinet, dvs. grundvattenytan är en lokal s. k. tryckyta och icke ett ut-

Tabell 41. Grundvattenståndsmätningar å Mölna försöksfält (i m).

Messungen des Grundwasserniveaus auf dem Versuchsfeld zu Mölna.

	I	II	III
1951			
22/4	1,45	1,50	1,55
25/5	1,79	1,91	1,96
4/8	2,17	2,26	2,32
1952			
2/1	2,08	2,12	2,16
20/5	2,08	2,18	2,20
18/10	1,93	2,05	2,08
1953			
4/1	2,10	2,12	2,18
23/4	1,68	1,70	1,75

tryck för områdets genomsnittliga grundvattenstånd. Detta kan gälla för finkorniga jordarter och inte minst för den normala sandig-moiga moränen. Rör man sig emellertid med sandjordar av Mölna-fältets genomsnittliga kornstorlek, bli förhållandena anorlunda. Här är materialet vanligen grovsand med stundom tämligen hög halt av sten och grus. Grundvattenståndsmätningar inom Mölna-fältet böra därför i stort sett representera en medelnivå för hela det plana sandområdet. Det visade sig också att de erhållna värdena på grundvattenståndet inom förf:s försöksytor låg blott ett tiotal cm (max-värde) över Käringsjöns (sjön bildar här snarast ett kärr) vattenyta i södra delen av Mölna-fältet. (Analyser av typjordarter från Mölna-försöken äro nr 16, 17, 18 tab. 50.)

I fig. 24 äro de inom försöksytorna upptagna grundvattenbrunnarna markerade med I—III. I tabell 41 äro de under försöksperioden (1951—53) observerade grundvattenståndet införda (i m under markytan).

d. Tillförda metallkationers urlakningshastighet.

Av skäl som tidigare påpekats valde förf. grova, väl sorterade jordarter för anläggandet av gödslingsförsök. Ett viktigt krav var också att grundvattenytan icke fick oscillera inom alltför vida gränser, så som exempelvis var fallet vid Bjurfors lysimeterförsök. Grundvattnet förmådde där, som nämnts, fullständigt renskjölja jorden på lättlösliga jonslag, vilket givetvis icke får ske, om metallkationernas rörelse mot djupet skola följas. Mina undersökningar ha ju redan på ett tidigt stadium visat, att urlakningen på bred front ej är omfattande, varför det vid gödslingsförsöken gällde att använda en grov jordart med stor genomsläpplighet. Mölna-fältet uppfyllde väl båda villkoren. Vad beträffar grundvattenytans höjningar och sänkningar, se tab. 41! I själva verket regleras grundvattenståndet tämligen väl medelst dammluckorna vid den närbelägna Mölna gård, där vattenståndet regleras i de vattendrag, som på två sidor begränsa försöksfältet.

Ett annat problem var att avpassa gödslingsmängden så att man erhöll ett tillräckligt stort överskott av de olika näringsämnena, så att dessas vandringar i marken lätt kunde följas, men samtidigt fick icke den tillförda givan skada eller döda markvegetationen. Om denna skadades, skulle ju de naturliga förutsättningarna för urlakningen väsentligt störas. Den giva som gavs motsvarar för kalium, kalcium och magnesium ungefär dubbelt så stora mängder, som redan finnas adsorberade till kolloidernas yta i humuslagret. Lättillgängligt K^+ , Ca^{2+} och Mg^{2+} i detta har bestämts medelst förträngning med ammoniumacetat. Gödselgivorna, som gåvos, brände tyvärr bort en del markväxter men trots detta voro de nästan i minsta laget, vilket i någon mån framgår av diagrammet nedan. Vid de fortsatta gödslingsförsök som lagts ut i olika delar av landet har övergödning skett ett flertal gånger under vegetationsperioden. På så vis erhålles inalles tillräckligt stora gödselgivor samtidigt som markvegetationen kan bevaras oskadad.

De uttagna jordproven fingo på laboratoriet upptaga vatten till full vattenkapacitet. Efter pressning vid pF 4,2, dvs. allt vatten i proven intill den ungefärliga vissnings-

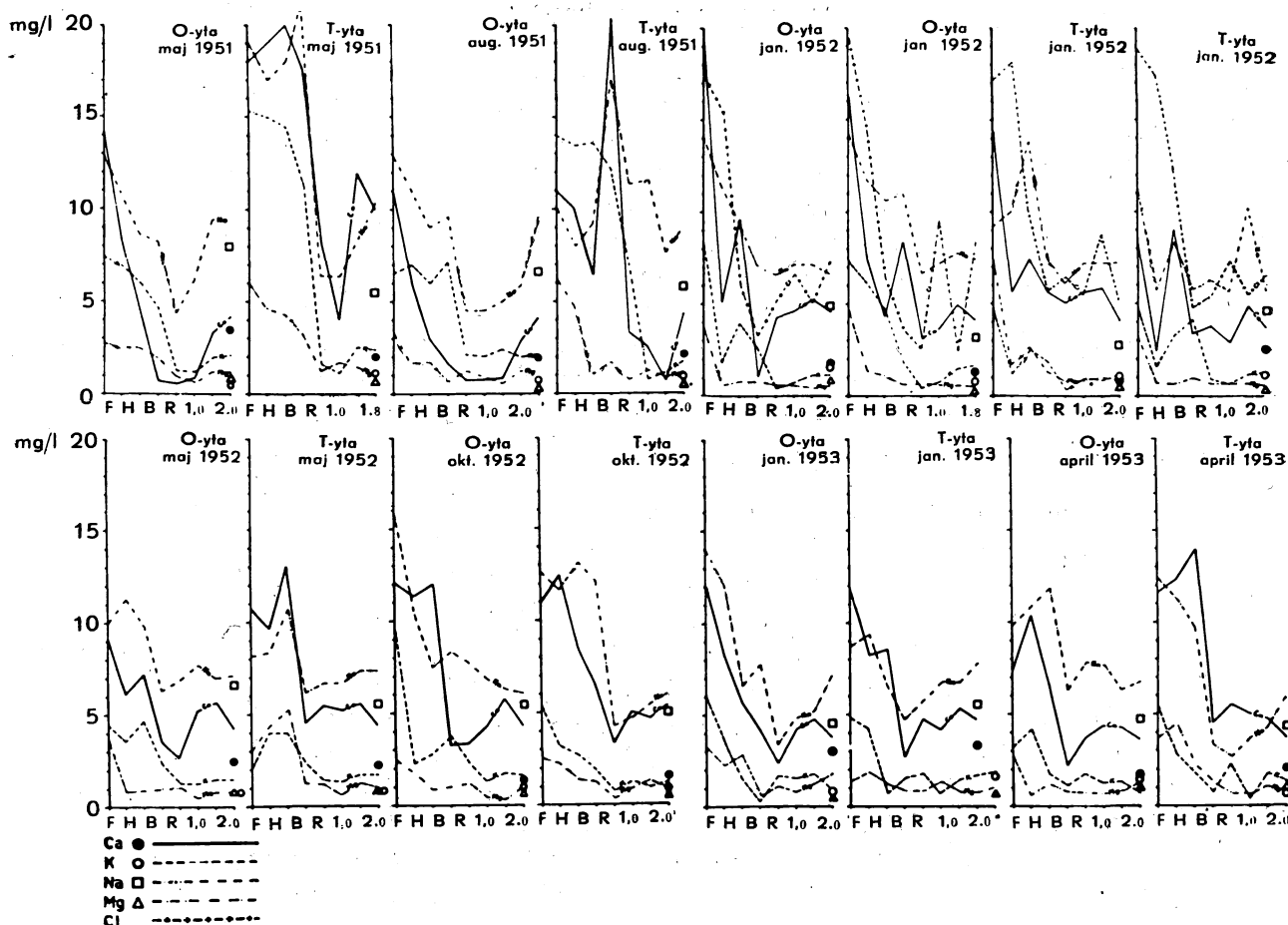


Fig. 25. Diagrammet visar den successiva urlakningen av Na^+ , K^+ , Ca^{2+} och Mg^{2+} dels inom 0-ytor och dels inom gödslade ytor. F = förnaskikt, H = humusskikt, B = blekjord, R = rostjord, varje djup därunder omfattar 10 cm såväl uppåt som nedåt. Urlakningen är bestämd genom pressning, varvid ett väl blandat generalprov fått upptaga vatten till full vattenkapacitet. Halterna av de olika katjonerna äro angivna i mg pr liter sjunkvatten. Tecknen ● ○ □ △ ange grundvattenanalyser.

Das Diagramm zeigt das sukzessive Auswaschen von Na^+ , K^+ , Ca^{2+} und Mg^{2+} teils auf ungedüngten Flächen (0-yta) und teils auf gedüngten Flächen (T-yta). F = A_0 , H = A_1 , B = A_2 , R = B_1 , 0,5—2,0 = C. ● ○ □ △ = Grundwasseranalysen.

punkten borttogs, bestämdes jonslagen i det utpressade vattnet. Utgångsvikten på den pressade jorden var 2 kg. Förna och humus uppgick till 200—300 gram.

Försöken utlades den 22/4 1951. En månad senare uttogs den första markprofilen dels i en 0-yta (se teckenförklaring i fig. 24) och dels i en T-yta. Det visar sig (se fig. 25) att redan i maj erhålles ett tydligt överskott av K^+ , Mg^{2+} och Ca^{2+} ned till rostjorden (som börjar på ca 10—12 cm djup). I augusti 1951 har urlakningen nått 0,5

meters nivån. Under maj—augusti har ca 200 mm nederbörd fallit. I januari 1952 föreligger knappast någon större skillnad i urlakningen av växtnäringssämnena mellan 0-ytan och T-ytan. Maj 1952 uppvisar i jämförelse med oktobervärdena samma år mycket små olikheter mellan 0-yltor och T-yltor. Dock förekommer en tendens till urlakning i de översta skikten i provserien, tagen i maj, i jämförelse med oktobervärdena. Förhållandet är likartat i januari—april 1953.

I stora drag kan man säga att de tillförda näringsämnena äro helt borta ur markprofilen i januari 1952. Således skulle den gödslingsgivan hunnit bli helt urlakad på maximalt ett halvt år.

Märkligt är emellertid att det ej erhållits förhöjda halter av de olika tillsatta näringsämnena på större djup i markprofilen än 0,5 meters nivån (aug. 1951). Mot detta må invändas att observationer ej ha gjorts över urlakningen under hela hösten 1951. Större skillnader mellan 0-yltor och T-yltor existerar icke efter januari 1952 och sålunda

Tabell 42. *Vattenhalt i % av jordprovens totalvikt inom Mölna försöksfält.*
Wassergehalt in Prozenten des Totalgewichtes von Bodenproben des Versuchsfeldes zu Mölna.

Djup i m Tiefe in Metern	Augusti 1951 Vattenhalt Wassergehalt	Januari 1952 Vattenhalt Wassergehalt
F (= A ₀)	33,8	28,5
H (= A ₁)	15,8	20,2
B (= A ₂)	15,4	18,4
R (= B)	11,5	14,2
0,45	7,1	6,5
0,50	5,6	7,8
0,60	5,7	4,5
0,65	4,3	4,3
0,70	4,2	3,7
0,8	3,6	3,5
1,0	3,1	3,7
1,1	3,3	3,6
1,2	2,9	4,0
1,3	3,0	2,9
1,4	3,6	2,8
1,5	4,0	3,8
1,6	3,7	4,5
1,7	4,5	6,8
1,8	4,0	7,2
1,9	8,3	8,9
2,0	18,6	10,0
2,1	18,4	23,4

skulle vi från 4 augusti 1952 till den 3 januari 1952 ha haft en hastig urlakning från 0,5 meters nivå ner till grundvattnet, som ligger på 2 m djup. Under samma tid har ca 400 mm nederbörd fallit. Dessa resultat strida emellertid mot de resultat som erhöles inom Bjurforsförsöken. Det är därför troligt att urlakningen av de tillförda växt-näringsämnenä aldrig hunnit nå längre än till 0,5 meters nivå.

Man kan emellertid principiellt invända att gödselgivorna voro relativt små i förhållande till redan befintligt lättillgängligt näringsförråd och man skulle därför icke få fram någon större koncentrationsökning på djupet. Enl. muntligt medd. av docent C. O. TAMM ha de använda gödslingsgivorna resulterat i ökade halter av bl. a. kalium i tallbarr under året näst efter gödslingen. Större eller mindre del av tillfört kalium ha sålunda ev. utnyttjats av träden. Som synes av fig. 25 voro de tillförda näringsämnenas förekomst kraftigt markerad i T-tytan både i maj och i augusti 1951. Nederbörden var under tiden maj—november (se fig. 35) betydligt högre än den genomsnittliga årsmedelnederbörden för samma tid och trots dessa förhållanden erhöles ingen iakttagbar urlakning på större djup än 50 cm. Det är därför föga troligt, att en större gödslingsgiva skulle ha nått ett större djup. Det tillkommer dessutom vissa omständigheter, som gör att man är starkt benägen för att tro att urlakningen — av även en ganska stor gödslingsgiva — icke kan nå djupare ner än 0,5 m och det är fuktighetshalten i markprofilerna.

Tabell 42 visar att den genomsnittliga fuktighetshalten på 0,5—1,5 meters djup ligger mellan ca 3—4 viktprocent. Laboratieförsök ha visat att det erfordras en 11—12 % vattenhalt för att perkolering skall kunna ske i detta tämligen grova material. Följaktligen är det knappast troligt att en urlakning på bred front har ägt rum mellan den 4/8 1951—3/1 1952. Om höstnederbörden skulle ha förmått att laka ur tillförda ämnen ur de undersökta markprofilerna under tiden aug.—sept., så måste fuktighetshalten ha varit betydligt större på 0,5—1,5 m djup. Nederbörden var dock låg under dessa månader.

Analyserna av de utpressade sjunkvattnet i januari 1952 omfattade även Cl⁻-bestämningar. Dessa värden verifiera synnerligen vackert den långsamma urlakningen i marken.

I samtliga diagram i fig. 25 äro grundvattenanalyserna även införda. Dessa analyser visa att halterna av resp. katjoner äro lägre i grundvattnet än i sjunkvattnet. Grundvattnet och sjunkvattnet bilda sålunda två helt skilda system, som icke nämnvärt äro beroende av varandra. Den långsamma urlakningen alstrar ett sjunkvatten med betydligt högre halter än vad som finnes i grundvattnet, i varje fall i dess övre del. Vad beträffar Mölna-fältet är detta i och för sig ej så förvånansvärt då den norr om fältet belägna Käringsjön bidrager till att hålla grundvattnet på en ganska jämn nivå. — Det är av intresse att se hur väl skillnaden mellan grund- och sjunkvattnets katjonhalter (och även klorhalter) överensstämmer med Bjurforsförsöken. Trots en relativt grusig jord, där perkoleringen bör gå så snabbt som över huvud taget är möjligt, får man

således en viss anrikning av joner till följd av ofullständig perkolering.

En annan mycket viktig slutsats av ovanstående försök är att vi vid 1,5—1,8 meters djup erhålla nästan genomgående likartade halter trots olikheter i årstid. För övrigt är kurvorna betr. C-horisonten tämligen likartade. Detta kan endast förklaras med en ovan (kap. V: 7) omnämnd jonbytesjämvikt som uppnås till följd av den långsamma urlakningen. På samma sätt erhåller grundvattnet också tämligen konstanta katjonhalter. Här och var kan givetvis även helt plötsligt uppstå höga halter av något jonslag (ex. kalcium, T-yta januari 1952) men detta får förklaras genom tillfällig rotdränering.

Sammanfattningsvis må sägas att försöken i Mölna ha belyst viktiga urlakningsförhållanden för sand- och grusjordar. Resultaten kunna lämpligen sammanfattas sålunda:

1. I de undersökta avlagringarna av grus och sand inom Mölna-fältet sker en urlakning tämligen snabbt (3 sommarmånader, ca 200 mm nederbörd) ner till max. 0,5 meter. (Jfr lysimeterförsöken.) Fortsatt urlakning sker förmodligen långsamt trots den grova jordarten.
2. Grundvattnet har betydligt lägre katjonhalter än sjunkvattnet.
3. Fuktighetshalten i markprofilen ger vid handen att fritt, på bred front rinnande sjunkvatten knappast existerar.
4. Även blekjordens vätskefas äger stundom höga jonkoncentrationer.
5. Den tämligen konstanta elektrolythalten i markvätskan på djupet understryker förf:s uppfattning om en rådande jonbytesjämvikt, som knappast smärre sjunkvattemängder, dränerade genom rötter o. dyl., förmår att rubba.
6. Gödslingsförsök i avsikt att utreda urlakningsförhållandena i skogsmarken böra utföras med successiva övergödslingar. Mängderna av salter som påföras böra nog beräknas med hänsyn till de befintliga mängderna av lättillgängliga joner.
7. Slutresultatet av Mölnaförsöken blir att de stöder förf:s uppfattning om en mycket långsam perkolering på bred front i marken. Denna perkolering kan förvisso taga flera år i anspråk, och bidrager sålunda ej nämnvärt att mata grundvattnet, som leder sitt ursprung från bestämda dräneringsbanor, vilka medge vattentransporter av helt annan och större storleksordning och hastighet.

KAP. VI

Nederbördens infiltration i skogsmarken

1. Litteratursammanfattning.

Studier över nederbördens infiltration i marken bedrevos tidigt som komplement till lysimeterförsöken. Olika marktypers sätt att suga åt sig nederbörden iakttoogs även vid studier över möjligheterna att behärska jorderosionen. Växternas vattenförsörjning var dock den viktigaste anledningen att söka klarlägga markens vattenhushållning. Framför allt intresserade man sig i slutet av 1800-talet för fuktighetsförhållandena i övergången mellan humustäcket och mineraljorden. WOLLNY (1888) visade tidigt att marken under våra vanliga kulturväxter inom jordbruket till följd av transpirationen var betydligt torrare än motsvarande skikt på öppen jord, men samtidigt tillägger han att mineraljord direkt under råhumusen är fuktigare än motsvarande skiktdjup i öppen jord. Iakttagelsen är intressant inte minst ur skoglig synpunkt. Den förutsätter att åkerjordsväxternas transpiration skulle vara så stor att den torkade ut den översta delen av matjorden. Men om mineraljorden under råhumusen skulle hålla sig fuktigare än motsvarande skiktdjup i öppen jord, måste detta innebära, att huvuddelen av skogsmarkens rötter ligga i råhumusskiktet, (eftersom rötterna ej förmå att torka ut mineraljordens översta lager) vilket också senare delvis visats av KALELA (1949). Givetvis samverka dessa fuktighetsförhållanden även med att avdunstningen från råhumusen blir allt mindre ju mäktigare denna är, vilket också WOLLNY (1890, bd 13, s. 134—143) framhåller. I humusen infiltreras sjunkvattnet lätt, medan den icke förmultnade förnan befordrar en viss ytvattenavrinning. WOLLNY (1890) gjorde en undersökning av infiltrationen genom att täcka över mineraljord med flera cm mäktiga skikt av olika slags förna.

Nederbörd 1.260 mm.

Granförna	på 40 cm djup	1.019 mm	sjunkvatten
Tallförna	”	967 mm	”
Ekförna	”	1.045 mm	”
Bokförna	”	1.031 mm	”
Barmark	”	606 mm	”
Levande Dicranum	”	524 mm	”
Död Dicranum	”	932 mm	”

Av hans försök skulle man vilja dra slutsatsen att vår barrträdsförna vore synnerligen genomsläpplig för sjunkvattnet. Denna slutsats gäller dock ej hela humustäcket, vari förnan ofta inbegripes. Trädens förna medgiver dock en förhållandevis snabb infiltration i det översta marktäcket såvida lutningsförhållandena icke föranleda en kraftig ytavrinning. Barmarken visade de lägsta värdena för perkolering. I WOLLNYS försök omtalas ej hur hög humushalten är i den jordart som användes för försöken på öppen jord. Det är bekant att det förekommer ett praktiskt taget rätlinjigt samband mellan infiltrationshastighet och humushalt, vilket bl. a. genom laboratorieförsök visats av MUSGRAVE (1934). (Jfr även SMITH etc. (1937), BROWNING (1937) m. fl. som kommit till liknande resultat.)

Å andra sidan kan man skilja mellan perkolering och infiltration. Sedan det översta humushaltiga lagret blivit mättat genom nederbördens infiltration, blir den fortsatta infiltrationshastigheten betydligt långsammare, Dvs. perkoleringen (nedrinningen på bred front) blir beroende av underlagets struktur, sammansättning m. m. Nämda förhållanden ha noggrant studerats av bl. a. HARVEY (1939) och HORTON (1935 febr.). Även MOSER (1939) undersökte humusens betydelse såväl för infiltration som för ytavrinningen. — I detta sammanhang är det nödvändigt att redogöra för de varierande definitionerna av vissa fuktighetsbegrepp. MUSGRAVE (1935 b) menar med begreppet infiltrationskapacitet (infiltration-capacity) summan av perkoleringshastigheten och den sjunkvattenrörelse, som sker förmedelst kapillariteten, medan HORTON (1933) anger infiltrationskapaciteten såsom den maximala hastighet varmed en jord förmår uppsuga vatten (med utgångspunkt från en viss given fuktighetshalt t. ex. fältkapaciteten). MUSGRAVES och HORTONS olika uttrycksätt innebära i princip samma sak och förklaras med nedanstående diagram.

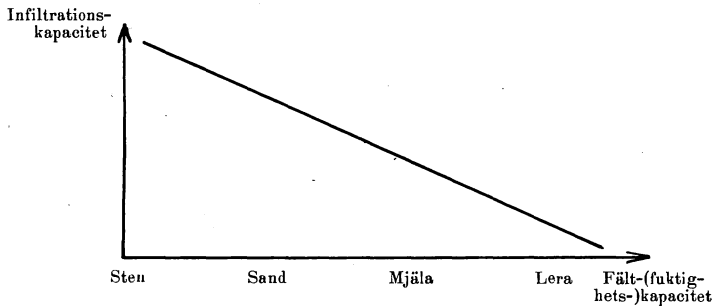


Fig. 26. Sambandet mellan infiltrationskapacitet och fältkapacitet.

Zusammenhang zwischen der Feldkapazität und der Infiltrationskapazität.

Diagrammet visar i all sin schematiska enkelhet att ju högre fält-(fuktighets-)kapaciteten (field moisture-capacity = den maximala fuktighet en jord förmår att kvarhålla sedan sjunkvattnet runnit bort) är, desto finare jordart. Detta torde vara självklart. Men samtidigt visar diagrammet att infiltrationskapaciteten minskar med minskad kornstorlek.

Det är således uppenbart att infiltrationskapaciteten minskar högst avsevärt och därtill mycket snabbt ju finare en jordart är. Denna minskning av infiltrationskapaciteten förorsakar en ökad ytavrinning, som givetvis icke är enbart beroende av jordarten som sådan, utan även av mekanisk bearbetning, humusinblandning etc. (GUSTAFSSON 1939). Infiltrationskapaciteten når icke sitt lägsta värde förrän största fältkapacitet är uppnådd. Och då fältkapaciteten nått sitt högsta värde begynner — enligt gängse uppfattning — perkoleringen av sjunkvattnet (gravitational water). ISRAELSEN (1918), BLANNY, TAYLOR m. fl. (1930) ROGERS (1935) och även SHAW (1927) ha experimentellt påvisat, att innan sjunkvatten bildas, måste full fältkapacitet ha uppnåtts. Visserligen hade SHAW en annan terminologi (normal moisture capacity = field capacity) men samtliga forskares undersökningsresultat innebära att i och med att fältkapacitet uppnåtts och sjunkvatten bildas, motverkas tillförseln till detta av infiltrationskapacitetens minskande och den därmed påbörjade ytvattnenavrinningen. Något avvikande uppfattning från ovan framlagda undersökningsresultat anmäler KARRAKER (1920), som funnit att för såväl sandiga som för leriga jordar gäller att smärre förändringar i fuktighetshalten i resp. jordar icke inverkar på vattnets infiltrationshastighet. Mot denna sistnämnda undersökning står bl. a. LEVIS (1937) förklaring att all »ursprunglig» fuktighetshalt förhindrar infiltrationen i marken. Han anser även att i ett humuslager ovan mineraljorden uppstår ett självständigt sjunkvatten, som ej rinner vidare till mineraljorden utan befordrar en ytavrinning. Denna erfarenhet är ur skoglig synpunkt betydelsefull, men bör ställas i relation till de försöksresultat som WITTICH (1938) framlagt, där han påvisar att så snart humusen är genomfuktad, behöver mineraljorden (en sandjord) ej vara mättad till mer än ca $1/3$ av sin vattenkapacitet för att perkolering skall ske på bred front. HALDEN (1926), CRAIB (1929), AUTEN (1933) m. fl. ha tidigare kommit till ungefär samma resultat som WITTICH. Även i sluttningar har det visat sig (NEAL 1938) att infiltrationen är mera beroende av den ursprungliga fuktigheten i jorden än av lutningen. De sluttningar som det här var frågan om, hade en lutningsgrad på 1,6: 10. Marken bestod av åkerjord, och regnen, som undersöktes, nådde ända till 100 mm pr timme. Jordarten var en svagt lerig mo.

Det är viktigt att man även tager hänsyn till årstiden vid en bestämning av ytinfiltrationens hastighet, och likaså kan omfattningen av sjunkvattnets perkolering anses bero på årstiden. KOSHAL (1934) har nämligen funnit, med stöd av ROTHAMSTED-lysimeterförsöken 1878—1932, att vattnet rinner snabbare genom markprofilen på vintern (då höstregnen mättat jorden med fuktighet) än på hösten då sommarregnen icke förmått tränga ner i markprofilen. Självklart är sålunda, att på djupet kan ingen tillförsel till grundvattnet ske (om man bortser från rotkanaler, gruslinser, etc.) förrän jorden fått en viss fuktighetshalt, som måhända på djupet måste nå upp till fältkapaciteten. Detta är ett mycket viktigt problem, som vi längre fram i detta kapitel skola taga upp till diskussion, nämligen hur hög fuktighetshalt erfordras för en allmän perkolering av sjunkvattnet i våra moränjor-
dar, och hur ofta och när ha sådana jordar denna

fuktighetshalt? Det är icke säkert att våra höstregn i likhet med Rothamsted-nederbörden förmår att mätta jorden till den grad att man erhåller en perkolering på bred front.

Det är uppenbart att humusen ökar infiltrationen och att hög fuktighetshalt befördrar ytavrinning. En annan faktor som även påverkar ytavrinningen är slambildningen i markytan. Denna slambildning är av stor betydelse inom områden, där erosionen är påtaglig. En svag slammängd i det perkolerande vattnet kan reducera sjunkvattnets perkoleringsförmåga med ända upp till 90 % (LOWDERMILK 1929). Ju häftigare ett regn är, desto snabbare erhålles en ytlig slammängd, som enligt HENDRICKSON (1934) förhindrar fortsatt infiltration. Dessa senare erfarenheter gälla företrädesvis inom odlade jordar. Även BODMAN (1936) har studerat de faktorer som påverka eller förhindra vattnets rörelser nedåt i markprofilen och tillsammans med HARRADINE (1938) har han visat hur finpartiklar mer eller mindre fullständigt kunna förhindra en perkolering mot djupet. Denna igentäppning av porerna motverkas av frost, rötter m. m. Å andra sidan behöver vattnet ej vara slambemängt; även tillräckligt höga jonkoncentrationer kunna väsentligt bidra till en synnerligen oregelbunden infiltration (KRAWKOW (1900).

HUGUES (1919) bestämde under vissa försöksbetingelser perkoleringstiden för 1 % natriumkarbonatlösning till 32 minuter och 45 sekunder. Genomrinningstiden reducerades till blott 28 minuter och 0 sekunder för 25 %-ig natriumkarbonatlösning. Perkoleringstiden för vanligt vatten blev 39 minuter och 18 sekunder. POWERS (1927) kunde visa att kalk och handelsgödselmedel i förening med naturgödsel ökade sjunkvattnemängdens nedträngande förmåga ganska väsentligt, medan destillerat vatten minskade perkoleringen. Dessa erfarenheter bestyrks av LUTZ (1935) som i likhet med ANTIPOV—KARATAJEV (1930) ansåg att infiltrationen i marken är beroende av kolloidinnehållet och att den hastighet varmed sjunkvattnet rör sig nedåt är beroende av de rådande jonbytesförhållandena.

Helt naturligt spelar jordmänsprocesserna en stor roll vid infiltrationen i skogsmarken, vilket också visats av LOWDERMILK (1937). Vi äga i vårt land markprofiler, som just äro betingade av olika infiltrationsförhållanden, men även i de fall då avvikelser i fråga om markprofilens utbildning icke äro stora, torde helt små olikheter i mäktigheter av rostjord etc. påverka perkoleringen på olika sätt. Givetvis kunna icke dessa faktorer ensamma bestämma perkoleringen i marken. Det finns en hel mängd andra faktorer som under vissa extrema förhållanden kunna påverka nederbördens infiltrering på djupet i marken. Hit höra t. ex. mikrolivet i marken, vilket enligt JACOT (1936), LOWDERMILK (1937) m. fl. äger en viss betydelse för infiltrationshastigheten. Även temperaturen har i vårt land en stor betydelse för avrinningsförhållandena. Tjälén förhindrar sjunkvattnets nedrinning och befördrar en ökad ytvattenavrinning etc. Sådana problem ha tämligen ingående, såväl kvalitativt som kvantitativt, studerats av HORTON (1924), som hävdade att ytavrinningen är tämligen liten vintertid (jfr även KOSHAL 1934). Då snö liksom is vanligen begynna att smälta i kontakten med sitt underlag, bil-

dar tjälen ett »golv» varpå smältvattnet rinner. Ytavrinningen blir under dylika förhållanden stor. I ett flertal arbeten av bl. a. MITCHELSON (1934), MUCKEL (1936), MITCHELSON och MUCKEL (1937) ha t. o. m. smärre variationer i temperaturen under vegetationsperioden korrelerats med infiltrationshastigheten i marken. Temperaturen spelar sålunda en viss roll för infiltrationen i marken även om den är liten i jämförelse med några andra faktorer.

Nederbördens storlek vid ett kortvarigt regn inverkar givetvis ganska väsentligt på infiltrationen i marken. MUSGRAVE (1937) skiljer mellan högintensiva regn och lågintensiva regn. Med lågintensiva regn menar MUSGRAVE ca 30 mm, medan högintensiva äro 70 à 80 mm. De lågintensiva regnen ge i avrinningsmängd från korta sluttningar procentuellt större del av nederbörden än i långa sluttningar. Förhållandet är omvänt för de högintensiva regnen. Undersökningarna avser öppen jord. Men även i svensk skogsmark, där regnen mera sällan uppgå till 70 mm under ett och samma dygn skulle man enligt MUSGRAVE förvänta att ytavrinningen ej kunde förekomma i någon större utsträckning i långa sluttningar. Så är emellertid fallet åtminstone inom för:s försöksområde i Bjurfors (Fröbenbenningsbackarna och Skumpabergets sluttningar). — Hastigheten i infiltrationen kan enligt SHERMAN (1936) endast bestämmas vid en viss tidpunkt under regnet i fråga. Detta framhålles också av HARDING (1937), som anser att man icke kan utgå från årsmedelnederbörden för att beräkna sjunkvattenvärdena.

Porositeten är ofta avgörande för infiltration, som t. ex. MUSGRAVE och FREE (1936) visat i sina försök med varierande djupbearbetning. I mark bearbetad till ca 10 cm djup blir infiltrationen 27 % större i jämförelse med obearbetad mark. Och sker kultivering ner till 15 cm djup blir motsvarande ökning nära 58 %. Jordarten var mjäla. BAVER (1938) hävdar också att sambandet är rätlinjigt (BAVER 1938 s. 56, fig. 5) mellan porositetsfaktorn och perkoleringshastigheten. KEEN (1931) har försökt att matematiskt beräkna infiltrationskapaciteten med utgångspunkt från bl. a. porvolymen. Resultatet är endast tillämplbart inom tämligen snäva gränser och framför allt då porositeten utgöres av de kapillära hålrummen i en naturligt lagrad jordart. Å andra sidan är det med BAVERS [1936 (Se NEAL 1939)] undersökningar klarlagt att i grövre jordarter är det de icke-kapillära hålrummen som betyder mest för infiltrationen, vilket torde vara helt naturligt då perkoleringsvattnet där icke fastnar kapillärt utan det verkligen bildar sjunkvatten i ordets rätta betydelse. Det kapillärt bundna vattnet förhindrar ytterligare perkolering. Är därför jordarten finkornig och det kapillära utrymmet ur volymsynpunkt större än det icke-kapillära ha vi sedan mättnad inträtt stora förutsättningar för ytavrinning. Hur förhåller det sig då i moräner? I en hårt svallad morän är givetvis den kapillära porvolymen oftast liten och det blir först den osvallade sandig-moiga moränen, som äger kapillära hålrum och som därmed efter en tid stoppar upp perkoleringen och föranleder ytavrinning (jfr sluttningarna inom Fröbenbenningsbestånden). I moränen spelar emellertid blockigheten och stenigheten (jfr lysimeterförsöken från Bjurfors) en väsentlig roll. Det blir

sålunda ytstrukturen som är avgörande för perkoleringshastigheten i väsentligt högre grad än porvolymen i moränmark. Detta framhålles också synnerligen kraftigt av DULEY och KELLY (1939). I ett flertal arbeten har infiltrationsfaktorn behandlats i hela dess vidd av framför allt LEWIS och POWERS (1938) och MUSGRAVE och FREE (1937). Nämnas bör även BENNET (1939 s. 198 ff), HORTON (1937), SCOFIELD (1924) m. fl.

Sammanfattningsvis äro de väsentliga faktorerna för infiltration i skogsmark följande:

- a) Porositeten (den icke-kapillära).
- b) Jordartens kornstorlek (block- och stenhalt i ytan och på djupet, lagerföljd m. m.).
- c) Markstrukturen (jordmånstyper, kolloidinhåll, jonbyteskapacitet, etc.).
- d) Organiskt material.
- e) Fuktighetshalten.
- f) Vegetationen (även rotkanaler etc.).
- g) Topografiska förhållanden (exposition, lutning osv.).
- h) Markfaunan och dess aktivitet.
- i) Temperaturfaktorn (uppfrysning, tjäle etc.).

Med några få undantag kunna de nio huvudgrupperna var och en för sig vara den bestämmande faktorn för infiltrationshastigheten, beroende på rådande omständigheter. Därför ha de ej placerats i någon slags nummerföljd för att därmed försöka få fram den mest betydande infiltrationsfaktorn i svensk skogsmark. Alla dessa faktorer kunna mer eller mindre samverka till en infiltration. I vårt land, där klimatet växlar från nästan semiarida områden till höghumida, är det helt naturligt att man icke kan tala om en enda huvudfaktor för infiltration. Infiltrationsförhållandena äro dynamiska och variera från plats till plats, från år till år. Vi få försöka att få fram en vattenbalans — om än en mycket grov sådan — för ett topografiskt enhetligt område, för ett bestånd etc. och där studera hur infiltrationen försiggår i detalj.

2. *Fuktighetens fördelning i markprofilen.*

Innan huvudorsakerna till en ökad hastighet av nederbördens infiltration till djupare marklager närmare diskuteras skall fuktighetens fördelning i marken under året behandlas. Förf. har inom en del av sina försöksområden bedrivit jämförande vattenanalyser i olika jordarter. Därvid måste det geologiska materialet vara så lika som möjligt ner genom hela markprofilen. Detta är nödvändigt för att kunna jämföra de erhållna fuktighetsvärdena inbördes.

Det har varit min avsikt att med hjälp av fuktighetshalter försöka få en uppfattning om hastigheten i vattnets nedträngande allt efter nederbördens storlek. HALDEN (1926) har infört begreppet relativ fuktighet (även BURGER 1922), varmed menas den procentuella fuktighetshalt som en jordart har i förhållande till maximal fuktighetshalt. Användning av den relativa fuktigheten är dock icke erforderlig i de fall då porvolymen är likartad i hela markprofilen. Däremot är den ganska användbar för att jämföra oli-

ka jordarters fuktighetstillstånd, då porvolymen växlar. I en markprofil som består av en normal sandig-moig morän kan porvolymen möjligen anses vara någorlunda konstant i det siktade finmaterialet under 2 mm kornstorlek, men till följd av bl. a. block- och stenhalt i moränen är dock porvolymen växlande i olika delar av moränen, vilket icke minst lysimeterförsöken visade. På grund härav kommer nederbördens nedträngande i moränen att få en hastighet i det finkorniga, blockfattiga materialet, där vattenrörelsen går på bred front, och en annan, betydligt högre, där större block och stenar förefinnas. Fuktighetens nedträngande i en markprofil med omväxlande grusiga och sandiga lager blir således mycket oregelbunden. Därmed uppstår också olika fuktighetshalter, som visserligen kunna jämföras med varandra, om man beräknar den relativa markfuktigheten. Men då frågar man sig, vad som menas med en totalt fuktighetsmättad (för den relativa fuktighetens beräkning erfordras uppgift om max. fuktighetshalt) grusjord. Fältkapaciteten vore kanske det riktigaste att utgå ifrån, men om jordarten saknar kapillär förmåga torde det vara tvivelaktigt om man kan rätt beräkna den relativa fuktigheten. På samma sätt blir ett mjälalager (vikts-) procentuellt starkt fuktighetshållande, det förmår att till ett ökat djup vidarebefordra fuktighet ovanifrån men förhindrar tillika avdunstningen och motverkar därmed en jämn fördelning av fuktigheten i markprofilen i sin helhet.

För att studera hur fuktigheten i marken varierar med årstider och nederbördsperioder är det därför också nödvändigt att välja en jordart, som har samma kornstorlek inom hela markprofilen och där de sekundära jordmånsprocessernas inverkan i möjligaste mån äro likartade inom profilen. Det sistnämnda torde vara svårast att bedöma riktigt utan ingående kemiska analyser. Först under hänsynstagande — så långt detta är möjligt — till dessa bägge faktorer (likartad kornstorlek och likartade jordmånsförhållanden) är det möjligt att med hjälp av vattenhaltsbestämningar få veta grundvattnets betydelse för vattenförsörjningen genom kapillära krafter uppåt och humuslagrets betydelse för vatteninfiltrationen nedåt. Därmed förfaller faktiskt möjligheten att använda den relativa fuktigheten. Vill man undersöka fuktighetens fördelning i marken under hänsynstagande till de varierande jordarterna i en profil måste detta ske med komplicerade matematiska beräkningar, som kanske trots sin exakthet — om de nu äro möjliga att utföra — icke kunna taga hänsyn till de starkt varierande faktorerna såsom nederbördsmängdens fördelning, temperaturen i olika markskikt, mikroorganismernas inverkan osv.

I diagrammet i fig. 27 har förf. inom Röskärsområdet gjort vattenhaltsbestämningar på samma prov som användes vid klorjonförsöken. Försöken omfatta sålunda en tidrymd av ett år under i huvudsak normala klimatbetingelser. Det visar sig att vattenhalten är högst dels i närheten av humustäcket och dels intill grundvattnet. De lägsta fuktighetsvärdena erhållas på 40—110 cm djup dvs. mitt emellan »källorna», (å ena sidan grundvattnet, å andra sidan infiltrationen uppifrån genom humustäcket). Kurvorna ha sålunda intet samband med klorvärdena utan representera ett konstant vattenförhållande året runt. Förf. har gjort motsvarande försök såväl i moräner som i grus-

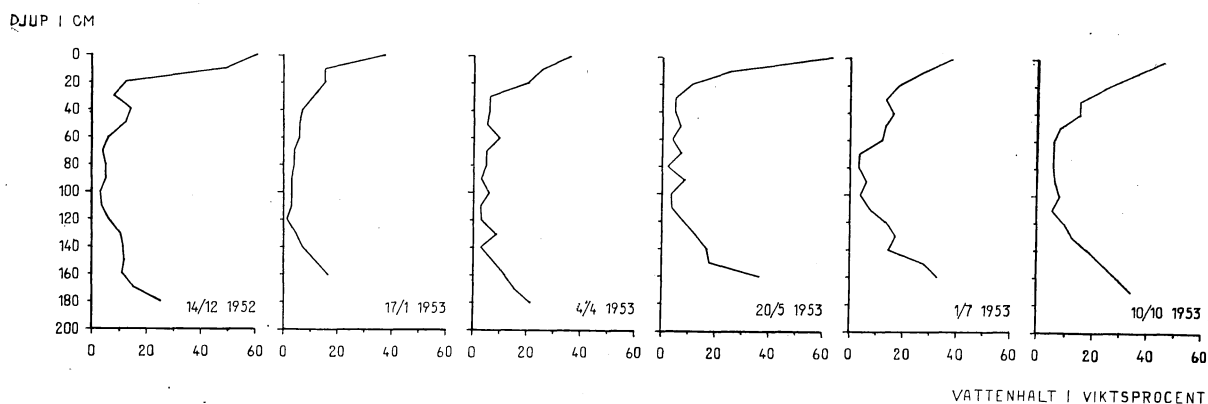


Fig. 27. Den årliga variationen i fuktighetshalt i sandig mo (Röskär).

Die jährliche Variation des Feuchtigkeitsgehaltes in sandigem Feinsand. (Röskär).

jordar på Bjurfors kronopark, men svårigheten att hitta homogena och tillräckligt mäktiga jordarter har där varit större än på Röskär. Erfarenheten visar i stället att inom all moränmark spelar stenigheten en väsentlig roll för infiltrationen. Fuktigheten intill stenarna är stundom lika hög som i den översta mineraljorden intill humustäcket. I några enstaka fall, där grundvattnet ligger på 1,5—2 meters djup och där moränen varit någorlunda stenfattig, har det emellertid inträffat att man får en fuktighetsfördelning i enlighet med diagrammet i fig. 27. Förf. tyder detta som om denna fuktighetsfördelning inställer sig även i osorterade mineraljordar, framför allt där humustäcket icke är alltför mäktigt. Markprofilen äger sålunda närmast humustäcket en zon med relativt hög fuktighetshalt. Därefter kommer en mellanzon med låg fuktighetshalt och därefter intill grundvattnet en zon med tilltagande fuktighetshalt.

Dessa iakttagelser äro icke nya. Redan WOLLNY (1895) urskilde dessa tre vertikala zoner liksom GREBE (1885), RAMANN (1888) och EBERMAYER (1889). HALDEN (1926) anser att vi i svensk skogsmark ha både på sand-, grus- och moränmarker denna fuktighetsfördelning, som han kallar för »normal profil» till skillnad från »regnvädersprofil» som vanligen åtföljes av en förhållandevis större fuktighet i humustäcket, i synnerhet på kalmarker. Dock anger HALDEN (1926) att »rena» moränmarker (finkorniga, »högapacitiva») intaga en särställning i det att de äga en någorlunda jämn fördelning av den relativa fuktigheten.

Det må framhållas att HALDENS undersökningar verifiera förf:s resultat. Den likformiga fuktighetsfördelningen är delvis betingad av blockhalten — även om denna är låg — som vid »regnväder» medger en snabb infiltration, framförallt i ytskikten av en markprofil. Moränsens finkornighet bidrager till att en relativt jämn fuktighetshalt erhålles längre ner i markprofilen. Relativa fuktighetsbestämningar taga emellertid i en normal sandig-moig morän icke tillräcklig hänsyn till block- och stenhalt i marken, varför dylika jämförande mätningar endast kunna komma i fråga för finkorniga, stenfattiga moräner.

Förf. hävdar, med stöd av egna och de ovannämnda undersökningarna, att den stabilitet i den årliga fuktighetsfördelningen, som erhållits i diagrammet i fig. 27, uppkommer genom att även stora nederbördsmängder i de allra flesta fall blott når ner i de översta markskikten. Efter hand tränger nederbörden vidare med hjälp av kapillärkrafter, men samtidigt motverkar trädens vattenförbrukning denna rörelse. De vattentyper som följa rotkanaler tränga emellertid tämligen snabbt ner i marken och uppnår betydligt större djup än det på »bred front» nedsipprande sjunkvattnet. Från grundvattnet stiger vattnet sedan kapillärt uppåt i markprofilen. Naturligt är då att det måste uppstå en mellanzon med låg fuktighetshalt, som är mer eller mindre stabil under hela året. Förf:s laboratorieexperiment ha visat att sandig-moig morän från Bjurfors måste vara mättad till minst ca 13 % för att perkolering skall kunna ske på bred front. Om detta värde icke uppnås, utan fuktighetshalten ligger på ungefär 5 %, som är ett normalt värde i mellanzonen, är en vattenrörelse nedåt på bred front ej möjlig. Därmed vill förf. icke hävda, att vi sakna all sjunkvattenrörelse. Sådan finnes givetvis förmedelst de ovan påvisade dränagebanorna. Även försiggår en diffusionsprocess, som kan åstadkomma en viss urlakning nedåt, vilket också understrykes av de ovan (kap. V: 6) anförda klorförsöken. Att urlakningen i flera fall kan tänkas ske genom en diffusion har redan framhållits av O. TAMM (1931).

Ovanstående slutsatser, som stödjas av sjunkvattenstudierna i kap. V: 7, böra gälla för de flesta jordarter. I och med att förf. utfört fuktighetshaltsbestämningar under hela året, alltså även vintertid, är det klarlagt, att fritt sipprande sjunkvatten på bred front ej existerar. Tidigare undersökningar (se ovan) ha endast omfattat förhållandena under vegetationsperioden, och därmed ha icke de allmängiltiga förhållandena kunnat säkert klarläggas. Man har sålunda ej haft klart för sig att trots den stora vattentillförseln under höst och vår vattenhalten några få dm under markytan förblir helt låg (jfr dock STÅLFELT 1944).

3. *Vegetationstäckets vattenkapacitet.*

Med hänsyn till de vattenförråd, som kvarhållas i humustäcket, är det nödvändigt att närmare undersöka huru stora nederbördsmängder som kunna absorberas utan att nå mineraljorden. Därför har dels bevattningsförsök och dels försök under regnperioder utförts i Bjurfors kronopark.

Försöken pågingo i huvudsak under sommaren och hösten 1952. Inom ett plant moränområde 400 meter västnordväst Bjurfors herrgård placerades ett antal masonitskivor (ca 0,8 m²) på marken i en ren *Hylocomium*-skog med övervägande gran (60—70-årig, hög bonitet). Runt varje masonitskiva ställdes 4 à 5 regnmätare. Efter varje regnskars med en härför särskilt konstruerad provtagare ut ca 5 dm² utav mosstäcket och humustäcket, dels under plattan och dels där någon platta icke hade täckt markytan. Medeltalet för absorberade regnmängder bestämdes genom vägning. Försöken upprepades sedan inom olika bestånd av olika åldrar. Av tabell 43 framgå de erhållna värdena.

Tabell 43. *Marktäckets interception i barrblandskog med husmossor som bottenvegetation.*
Die Interception der Bodenoberfläche im Nadelmischwald mit *Hylocomium splendens* resp. *Pleurozium Schreberi* als Bodenvegetation.

	Jordart	F-skikt A ₀ cm	H-skikt A ₁ cm	Medelneder- börd i mm Niederschlags- mittelwert in mm	Uppsugen mängd vat- ten i % av total- nederbörd. Menge des vom Boden auf- gesaugten Wassers in Pro- zenten des totalen Nieder- schlages
Barrblandskog. Aldersklass IV. Enstaka bärris i husmossmatta. 400 m VNV Bjurfors herrgård.	Sandig- moig morän	7—8 6—7 5—6 5—6 6—7 7—9	8—10 8—10 7—8 6—7 9—10 12—14	23 12 63 24 32 35	98 101 95 89 92 112
Granskog. Aldersklass III. Husmossa med <i>Sphagnum</i> -fläckar. Bärris strödda. 350 m ONO Gavelmossens östspets.	Ytstenig, sandig- moig morän	3—5 3—4 4—5 3—4 4—5 2—3	4—5 2—3 2—3 2—4 2—3 3—5	18 18 18 18 18 18	82 88 80 101 93 90
Barrblandskog. Aldersklass IV. Enstaka bärris. Ekorrhärbär, <i>Melampyrum pratense</i> , <i>Pleurozium Schreberi</i> r, <i>Sphagnum</i> fläckar. 125 m N Långmossens nordspets. Provytorna ligga i öppna gläntor.	Ytstenig, sandig morän	3—5 3—4 4—5 5—6 2—3	2—3 3—4 3—5 3—4 2—3	26 26 26 26 26	80 81 83 84 82
Granskog. Aldersklass V. <i>Hylocomium splendens</i> som bottenvegetation. 525 m öster om skärningen mellan Myrsjövägen och stora kraftledningen.	Lätt mel- lanlera (Utdikad)	ca 30—40 cm mäktig torv		15 ” ” ” ” ”	110 100 115 112 118 105
Barrblandskog. Aldersklass IV. <i>Hylocomium splendens</i> r. 250 m SO Dammsjöns östspets. Bevattningsförsök. 200 mm tillfördes under en tid av 2 dygn.	Sandigt grus	3—4 2—3 2—4 2—6 4—5 3—5	4—5 2—3 3—5 3—4 2—3 3—5	200 200 200 200 200 200	78 101 108 95 100 92

Av tabellen framgår att sommartid praktiskt taget i vartenda fall erhöles en fullständig fastläggning av nederbörden i humuslagret. Även vid stora bevattningsmängder (200 mm) trängde fuktigheten icke nämnvärt ner i marken.

Försöken visa dessutom att ett yngre bestånd (åldersklass III) väl förmår att suga upp en nederbördsmängd i sitt humustäcke, som är fullt jämförbar med den i äldre skog. Det må dock framhållas att bärrisen och gräsen äro talrikare i det yngre beståndet, vilket möjligen skulle kunnat befordra infiltration mot djupet. Fastläggningen av nederbörden i markens översta, humösa skikt var överraskande stor även på hyggen.

Tabell 43 visar att så snart ytstenighet förekommer, sjunker humustäckets vattenabsorption högst väsentligt. Detta förhållande förklarar varför vi i svallade sluttningar erhålla en tämligen god grundvattensilning på de osvallade moränerna under det grusrika ytlaget även vid förhållandevis små nederbördsmängder. Här spelar ytstenigheten sålunda en väsentlig roll för nederbördens nedträngande i markprofilen.

4. *Nederbördens infiltrationsvägar.*

Med hänsyn till de resultat som analyser såväl av grund- och sjunkvattnet som lysi-
metervattnet givit kan man urskilja tvenne huvudvägar för sjunkvattnets passage genom marken. Dels sker perkolering på bred front, utfyllande porvolymen helt eller delvis, och dels sker nedrinning genom kanaler av olika slag. Perkoleringen på bred front i skogsmarken är undersökt ovan (kap. V: 3—8) och vi skola här närmare diskutera det sjunkvatten som följer dränagebanor av olika slag. De dränledningar som här spelar en betydelsefull roll äro dels rotkanaler och dels vattenbanor utmed block och stenar i marken. Ligga blocken och stenarna i nära kontakt med varandra, blir infiltrationen snabb. Något liknande måste även gälla för hållmarker. I Bergslagen är hållprocenten i allmänhet ganska hög (se kap. VIII: 2), och det är sannolikt att vi tack vare detta får en ganska omfattande och snabb infiltration till grundvattnet. En principiellt likartad infiltration erhålles även av det vatten, som kan rinna fram ovanpå lutande, mindre vattengenomsläppliga lager, vilket ovan, kap. IV: 3, påvisats vara mycket vanligt.

För att närmare undersöka infiltrationen utmed hälltytor har särskilda vattenobservationsrör, som beskrivits i kap. II, kommit till användning. Tvenne områden utvaldes: dels ett hållområde (se lokalkartan), som avvägdes noggrant (se kartan i fig. 28) och dels, som jämförelse, ett plant moränområde i medelålders barrblandskog med i huvudsak husmossor som markbetäckning. Hållområdet består av kala hällar, omfattande en yta av ca 140 m², och utgör de högst belägna partierna på kartan. Där vattenståndsror äro markerade, utgöras de lösa avlagringarna av minst 40 cm mäktig morän, som sedan successivt tilltager i mäktighet ut mot sidorna. Runt själva hållområdet är den sandig-moiga moränen i ytan svagt svallad och har redan c:a 12 meter från hållens högsta punkt en mäktighet av åtminstone 2,5 meter. Inom det plana jämförelseområdet består jordarten av sandig-moig morän; i ytan synnerligen svagt svallad. Båda områdena äga dock en viss ytstenighet. Någorlunda jämnt fördelade har observationsrör

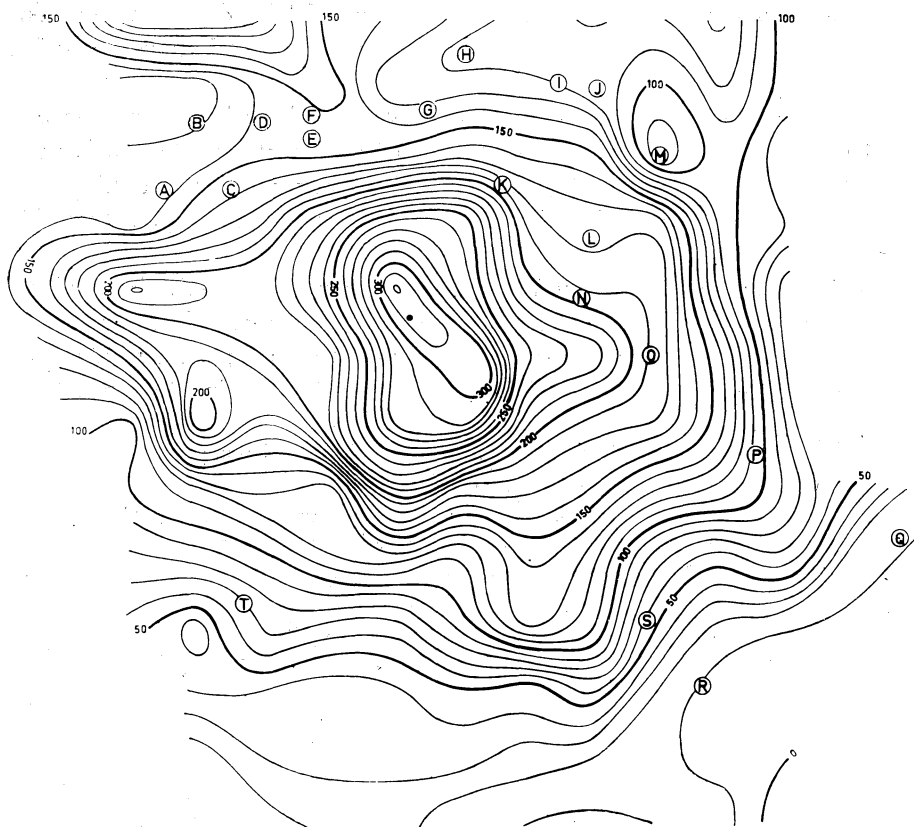


Fig. 28.. Vattenståndsrör å Bjurfors Kronopark inritade på nivåkarta med 10 cm ekvidistans.

Wasserstandsmessröhren im Staatsforst zu Bjurfors, eingezeichnet auf einer Niveauekarte mit 10 cm Äquidistanz.

placerats så att de nå ner till grundvattnet. Dessutom har ett antal regnmätare utplacrats för att erhålla ett tillförlitligt medeltal av nederbörden inom resp. områden.

Observationerna ha tillgått så, att om möjligt mätningar av vattenståndet i rören har skett under ett flertal dagar omedelbart efter ett regn. Avsikten var att se hur lång tid det tar för en viss nederbördsmängd att påverka grundvattenytan på de olika punkterna, dvs. att studera hur hällen inverkar på grundvattenståndet i den omgivande, plana moränmarken (se tab. 44 och fig. 28).

Förf. har i lokalgrupp A valt ut en serie observationsvärden där första observationen har föregåtts av en tämligen lång torrperiod, omfattande 14 dagar utan någon nederbörd. Vid 2,9 mm nederbörd erhöles ända till 155 mm (lokal p) vattenståndshöjning i observationsrören. När nederbörden blir 23,2 mm — ungefär vad som menas med en normal »rotblöta» — stiger vattnet i observationsrören ända upp till 342 mm (lokal f). Förhållandevis små bli vattenståndsförändringarna efter 5,1 mm neder-

börd — grundvattenytan har nått maximivärden, som vid följande observation sakta avtaga. Denna sänkning av grundvattenytan kan bero på ett flertal samverkande faktorer.

Samma nederbördsmängder ha noterats inom intilliggande plana moränområde, lokalgrupp B (tab. 44), men variationerna i grundvattenståndet äro här små och grundvattenytans läge är tämligen konstant. 23,2 mm regn kommer ej till synes i höjning av grundvattenytan förrän efter ett par dagar och då blir det ytterst små förändringar.

Den packade bottenmoränen är tydligen rätt svårgenomsläpplig. [O. TAMM (1931) anger i ett fall 10 cm pr dygn såsom sjunkhastighet i sådan morän.] Tre dygn behöves i allmänhet inom mitt moränområde för sjunkvattnet att passera moränen till grundvattnet. Vid efterföljande fuktighetsbestämningar visade sig moränen på 30—40

Tabell 44. Grundvattendjupmätningar å Bjurfors Kronopark.

V = Vattendjup i mm

N = Därefter fallen nederbörd i mm.

Grundwasserstandsmessungen im Staatsforst zu Bjurfors.

V = Beobachteter Wasserstand in mm.

N = Nachher gefallener Niederschlag in mm.

Lokalgrupp A		21/9		23/9		26/9		28/9		29/9		30/9	
Observationsrör	Djup i m Tiefe in metern	1952		1952		1952		1952		1952		1952	
		V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N
a	0,50	0	2,9	1	23,2	21	5,1	345	0	335	0	310	
b	0,45	65		65		110		130		145		150	
c	0,55	30		30		65		355		340		335	
d	0,40	0		20		245		265		250		200	
e	0,83	105		150		220		395		445		445	
f	0,58	30		63		405		425		400		360	
g	0,60	40		56		110		265		305		325	
h	0,60	200		217		500		565		535		520	
i	0,73	250		252		555		600		570		555	
j	0,63	190		302		410		408		400		380	
k	0,32	0		0		115		125		85		50	
l	0,30	0		0		95		90		75		50	
m	0,30	35		84		115		130		95		85	
n	0,41	0		0		60		30		5		0	
o	0,32	0		0		40		20		2		0	
p	0,38	0		155		135		140		85		40	
q	0,65	530		536		515		515		505		490	
r	0,31	0		0		95		90		20		0	
s	0,35	0		0		0		0		0		0	
t	0,55	0		0		265		250		220		175	

Tabellen fortsätter på nästa sida

cm djup icke hålla mer än 3 viktprocent vatten. Bestämningarna omfattade blott 3 lokaler då jag ej ville söndergräva försöksområdet. Enligt ovan (kap. VI:2) skulle då ej någon perkolering på djupet vara möjlig (allra minst vid en så låg nederbörd), varför dränagebanor av något slag måste förklara nedrinnandet till 1,20 m-nivån inom lokalgrupp B, lokal 3.

Det är således uppenbart att även helt små nederbördsmängder förmå att höja grundvattenytan nära hällområdet. Orsaken till detta är enkel nog, en tryckyta har utbildats som förmår att pressa upp vattnet i vattenståndsroren. Tänkbart är också att höga vattenstånd kunna uppstå, om roren placeras i en sänka, som måhända saknar avlopp. De är också tänkbart att man vid nedslagningen i marken av vattenståndsroret åstadkommer en hålighet i moränen, som sedan vattenfyller uppifrån tack vare det silande ytvattnet ovan den osvallade moränen. I alla händelser torde man kunna fastslå att den oscillerande grundvattennivån ej på något sätt är ett uttryck för den hastighet varmed nederbörden perkolerar genom moränen på bred front. [Att ca 3 mm nederbörd åstadkom 155 mm höjning av ett allmänt grundvattenstånd är således otänkbart (se tab. 44).] HESSELMANS (se MALMSTRÖM 1931 s. 104) grundvattenobservationer från såväl Rokliden som Kulbäcksliden visade att de skillnader, som uppkommo i grundvattenståndet under några veckors förlopp uppgingo till ett par m. Det är icke grundvattenytans i moränen höjningar och sänkningar som erhållits utan det är grundvattenståndet i den understa genomsläppliga delen av jordlagren ovanpå berget (eller i sprickor i berget) som uppmäts i HESSELMANS observationsrör

Tab. 44, forts.

Lokalgrupp B

1	0,75	60	60	60	60	67	62
2	0,80	120	121	121	120	130	125
3	1,20	508	510	510	510	515	510
4	0,60	0	0	0	0	12	6
5	0,75	70	70	70	70	75	73
6	0,83	150	152	150	280	200	200
7	0,90	210	212	210	210	180	180
8	0,85	140	139	140	140	138	139
9	0,68	0	0	0	0	12	8
10	1,10	410	400	400	400	400	400
11	0,78	40	40	40	40	41	40
12	0,50	0	0	0	0	0	0
13	0,43	0	0	0	0	2	0
14	0,69	0	0	0	0	6	2
15	0,75	40	41	40	46	42	40
16	0,70	12	12	12	12	14	10

och som är beroende av grundvattentrycket från omgivande infiltrationsområdet. HESSELMAN har visat att vattenrörelser i morän i sidled äro blott 5 à 6 m pr år, men detta motsäger ej att perkoleringen ovanifrån givetvis kan vara snabbare. Det är förf:s uppfattning att de i HESSELMANS undersökningar påvisade oscillationerna av en grundvattenyta antingen äro vissa följdverkningar av rörligheten hos en tryckyta eller att de illustrera hur nederbördsvattnet snabbt perkolerar genom rotkanaler o. dyl. ner i håligheter och där förmår höja den lokala grundvattenytan tämligen kraftigt. [Härtill kommer att de använda trätrum mornas konstruktion icke var helt invändningsfri. Sedan omgivande morän vattenmätats i ytan och därefter kanske igenslammats, är det ej otänkbart (se inledningen till detta kapitel) att det nederbördsvattnet som runnit utmed trätrummans väggar kan bilda stående sjunkvatten för en kort tid.] Även O. TAMMS (1931 s. 249) grundvattenyta med en sjunkhastighet av ända upp till 10 cm pr dygn får fattas såsom en vikande tryckyta, som orsakar ett kraftigt undertryck, varvid en snabb sänkning av vattennivån i observationsbrunnen blev följden.

Den hastiga höjningen av en grundvattenyta till följd av tillfällig nederbörd och den därpå följande sänkningen av densamma, vittnar om tämligen labila infiltrationsförhållanden. T. o. m. en mindre uppstickande håll bildar — som i fig. 28 — ett utmärkt infiltrationsområde. Varje observationsrör nedanför höjden äger sin egen grundvattenyta, trots det ringa avståndet mellan rören. Det lilla försöksområdet ligger inom det stora plana moränområdet öster om Gavelmossen, där små hållar äro vanliga på 0,5—1 meters djup. Det är då tydligt att hållarnas storlek och konfiguration spela en stor roll för grundvattnets »försörjning» tillsammans med ytstenighet, rotkanaler o. dyl. Men i de fall, såsom vid lokalgrupp B, där berggrunden ej sticker upp i ytan, utan täckes av 1—2 m morän, blir det dels en eftersläpning vid nederbörden nedträngande i marken och dels kvarstår ett ev. högt vattenstånd en längre tid. Därvid blir grundvattenytans höjningar och sänkningar relativt små.

Försöken visa att vid nederbördens infiltration i marken spelar hållprocenten en avgörande roll, liksom ytstenigheten och rotkanalerna enligt lysimeterförsöken i kap. V: 3—5. Är en morän tillräckligt hårt packad blir perkoleringen väsentligt nedsatt. MALMSTRÖMS (se O. TAMM 1931) perkoleringsförsök i morän understryker detta.

Av allt att döma spelar infiltrationen till grundvattnet utmed hållarna en väsentlig roll, så snart de kvartära avlagringarna äro tunna eller delvis saknas. Om nederbördsvattnet rinner fram utmed hållar, borde man i det mineraljordslager, som ligger närmast erhålla en vittringshorisont, orsakad av det framrinnande vattnets kemiska inverkan. Detta vittrade lager borde sträcka sig utmed hållen ända till själva grundvattnet uppnås. Sådana vittrade och även kolloidimpregnerade skikt finnas också. Förf. har funnit att lager intill en underliggande berghäll vanligen äro starkt humushaltiga och ha lågt basmineralindex. Om jordtäcket är så pass mäktigt, att exempelvis en normal järnpodsol har utbildats, erhåller man trots detta ett humusrikt lager i bot-

Tabell 45. *Det utefter hällen rinnande grundvattnets inverkan på basmineralindex i morän. Hemmesta, Sthlms län.*

Die Einwirkung des entlang der Felsoberfläche fliessenden Grundwassers auf den »Basmineralindex» der Moräne. Hemmesta, Sthlms län.

Djup i cm Tiefe in cm		Basmineralindex
0—5	Humustäcke (A ₁)	
5—6	Svagt utbildad blekjord (A ₂)	8,3
6—15	Rostjord (B ₁)	9,5
15—20	Roststrimmor (B ₂)	12,8
20—30	„	12,9
30—40	Sandig morän (C ₁)	13,1
40—42	„	12,8
42—45	„	13,0
45—47	„	12,0
47—49	„	9,0
49—51	„	8,5
51—61	Starkt humusanrikad morän (C ₂)	4,3
61 cm+	Berggrunden (D)	

ten, som successivt uppåt övergår till en normal C-horisont, som vidare uppåt överlagras av rostjord, blekjord och råhumuslager. Denna lagerserie påträffas, så snart hälltytan icke stupar för brant. Med hjälp av basmineralindexbestämningar kan man på ett enkelt sätt påvisa vittringen i det mineraljordslager, som ligger närmast hälltytan. Således har förf. i en smärre moränskärning strax intill Hemmesta gamla gård på Värmdölandet erhållit följande värden på basmineralindex, se tab. 45.

Det är sålunda uppenbart att det utmed hällytorna finnes en vittringshorisont, inte bara tillfälligtvis i den beskrivna Värmdö-profilen, utan även inom alla andra av förf. undersökta dylika lokaler. Bäst iakttagbar är den om man undersöker hållar, som sluttar långsamt, med ett moräntäcke, som successivt tilltager i mäktighet. Vid noggranna grävningar visar det sig stundom att en hårt packad sandig-moig morän ofta utfyller sprickor, fördjupningar eller andra ojämnheter i hällytans skrovliga relief. Dessa moränutfyllnader omfatta blott ett fåtal dm³ och synas på grund av sitt läge ha skyddats från det senglaciala havets eroderande verkan. När det rinnande »hällvattnet» passerar en dylik moränfylld spricka, förmår det icke tränga ner utan rinner ovanpå moränfyllnaden (jfr vattensilning ovan osvallad morän, kap. IV: 3). Även i nu beskrivna fall blir moränen ytligt överdragen av en starkt humushaltig, mycket tunn men ogenomsläpplig skorpa. Den under skorpan befintliga moränen har ett högt basmineralindex och är således ovittrad. Från en lokal (Söfringsbo), 9 km norr om Garpenbergs herrgård, har förf. undersökt ett tämligen typiskt exempel på ovanstående, se tab. 46.

Längst ner i profil 1 och 2 silar grundvattnet utmed hällen, men redan i profil 3 och 4 rinner det på den hårt packade moränen på samma sätt som inom t. ex. Fröben-

Tabell 46. Analyser av mineraljord ovan håll, utmed vilken grundvattnet silar. (4 profiler).
 Analysen von Bodenproben auf Fels, entlang welchem das Grundwasser sickert. (4 Profile).

Djup i cm Tiefe in cm	Magnet. mineral %	Basmineralindex	Glödn. förlust % Glühverlust	Aska % Asche	pH	Mineraljord %	
Profil 1:							
0-3	—	—	42	3	3,6	55	H-skikt (A ₁)
3-4	0,9	5,0	7	1	3,5	92	Blekjord (A ₂)
4-12	0,6	4,3	8	1	3,8	91	Rostjord (B ₁)
12-15	0,8	5,4	6	3	4,1	89	Svagt roströd sandig-moig morän. (C ₁)
15-31	1,0	5,1	8	4	4,3	91	" " " " "
31-36	1,0	9,7	12	9	4,4	79	" " " " "
36-41	1,6	10,0	17	11	4,5	73	Tilltagande humusfärgning, eljest som föregående. (C ₂)
41-44	1,4	8,9	18	12	4,5	71	Ännu något mera humusfärgat. (C ₂)
44-47	1,8	7,7	30	11	4,2	59	Mörkt brunröd sandig morän. (C ₂)
47-50	1,0	9,8	34	10	4,3	56	Mineraljord m. stark humusinblandn. (C ₂)
50-51	1,0	6,2	55	9	4,1	36	Humuslager med inblandning av mineraljord. (C ₂) (Grundvattenförande.)
Profil 2:							
0-4	—	—	43	1	3,4	56	H-skikt (A ₁)
4-6	0,3	4,1	5	0,4	3,4	94	Blekjord (A ₂)
6-18	0,9	8,2	14	12	5,7	74	Rostjord (B ₁)
18-35	1,5	6,4	10	9	5,2	81	Rostfärgad sandig-moig morän. (B ₂)
35-47	1,5	7,2	8	10	5,2	79	Svagt rostfärgad sandig-moig morän. (C ₁)
47-52	1,7	9,1	11	9	5,1	82	" " " " "
52-57	1,4	10,0	9	8	5,4	80	Svagt roströd mineraljord. (C ₁)
57-63	2,0	10,0	12	7	5,0	81	Grynig mineraljord med rostöverdrag på jordaggregaten. (C ₂)
63-66	1,1	8,1	21	7	4,3	72	Svartbrun mineraljord. (C ₂)
66-67	0,9	6,5	36	8	4,5	57	Humuslager med viss halt av mineraljord. (C ₂) (Grundvattenförande.)
Profil 3:							
0-6	—	—	52	3	3,4	45	H-skikt (A ₁)
6-11	0,4	4,1	6	0,4	3,6	94	Blekjord (A ₂)
11-16	1,0	10,2	15	8	4,6	77	Rostjord (B ₁)
16-21	1,4	9,3	9	7	4,5	84	Ljust rostfärgad sandig-moig morän. (B ₂)
21-24	1,7	11,2	7	7	5,5	86	" " " " "
24-26	1,4	10,5	8	7	5,3	85	" " " " "
26-36	1,2	10,2	8	7	4,9	85	Sandig morän. (C ₁). " Analys 53, tab. 50.
36-46	1,5	10,3	9	8	5,3	83	" " " " "
46-56	1,4	11,0	8	7	4,9	85	Svagt roströd sandig morän. (C ₁)
56-62	1,9	10,5	10	7	5,3	83	Tvårt övergående till svart, humusrik mineraljord. (Grundvattenförande) (C ₂)
62-66	1,7	10,3	17	7	4,5	76	Sandig morän. Begränsad uppåt av en brunröd 0,1 mm tjock skiva på vilken grundvattnet rinner. (C ₃)
66-70	2,2	12,4	3	5	5,3	92	Sandig morän. (C ₃)
70-75	2,0	12,0	3	5	4,8	92	Rostsprickor i sandig morän. (C ₃)
75-76	2,0	13,9	3	6	5,3	92	Sandig-moig morän. (C ₃). Anal. 57, tab. 50.

Tabell 46. Forts.

Djup i cm Tiefe in cm	Magnet. mineral %	Basmineral- index	Glödn- förlust % Glühverlust	Aska % Asche	pH	Mineraljord %	
Profil 4:							
0—3	—	—	37	3	3,4	60	H-skikt (A ₁)
3—4	0,3	4,2	7	1	3,4	92	Blekjord (A ₂)
4—14	0,9	7,4	10	3	4,1	87	Rostjord (B ₁)
14—18	2,3	8,6	10	7	4,6	82	Rostfärgad sandig morän. (B ₂)
18—21	2,0	7,2	10	9	5,7	81	
21—31	1,2	10,6	8	6	5,2	85	Svagt rostfärgad, sandig morän. (C ₁)
31—41	1,8	15,3	6	7	5,4	88	Sandig morän. (C ₁)
41—51	1,5	10,8	6	7	5,8	87	
51—61	1,7	10,0	11	10	5,3	79	Ljust roströd, sandig morän. (C ₁)
61—66	3,2	8,1	11	8	4,9	81	Mörkt rostrött mineraljordslager. (C ₂)
66—71	1,2	11,3	22	7	4,9	71	Humushaltig, svartfärgad mineraljord (grundvattenförande). (C ₂)
71—76	2,9	11,2	3	6	4,9	92	Sandig morän. Begränsad uppåt av en mm-tunn rostfärgad kaka. (Analysen avser moränen C ₃)
76—80	2,0	11,9	2		4,8		Sandig morän. (C ₃)
80—85	2,6	12,6	2	4	5,4	94	” ” ” Analys 60, tab. 50.
85—86	4,0	13,5	2	4	5,4	94	” ” ”

benningsbackarna å Bjurfors kronopark. pH-värdet i det humusrika lagret är praktiskt taget lika lågt som i blekjorden. De magnetiska mineralen, som äro förhållandevis lättvittrande, uppvisa minima i de horisonter där grundvattnet silar. I fig. 29 äro de geologiska, hydrologiska och pedologiska förhållandena för Söfringsbolokalen angivna.

Inom varje profil är det vattenförande, starkt humushaltiga lagret vanligen synnerligen skarpt avgränsat såväl uppåt som neråt. Detta kan tydas som om denna humushaltiga horisont ständigt strävat att utvidga sig uppåt — till följd av urlakning (och därmed sammanhängande vittring) genom tidvis högt grundvattenstånd — men samtidigt pressats ihop till följd av ovanför liggande jord. Till sist har dock ett relativt mäktigt humusämnesskikt erhållits, som förmår taga emot även större nederbördsöverskott. På grund av en ständig urlakning från själva humusämnesskiktet (som enligt analyserna i tabell 46 givetvis också innehåller mineralpartiklar) kan man förmoda att detta basala lager befinner sig i »tillväxt uppåt». Därmed skulle en hel del av det årliga vittringstillskottet (den kemiska denudationen) från fastmarksjordar till åar och älvar lättare kunna förklaras. Blekjordens mäktighet är i vårt land icke tillräcklig (O. TAMM 1920 s. 234) för att förklara de årliga förlusterna av näringsämnen, som sker till våra vattendrag.

För att förstå rötternas betydelse såsom dränledningar till grundvattnet kan man behandla detta problem även från matematisk synpunkt. Marken innehåller ett visst

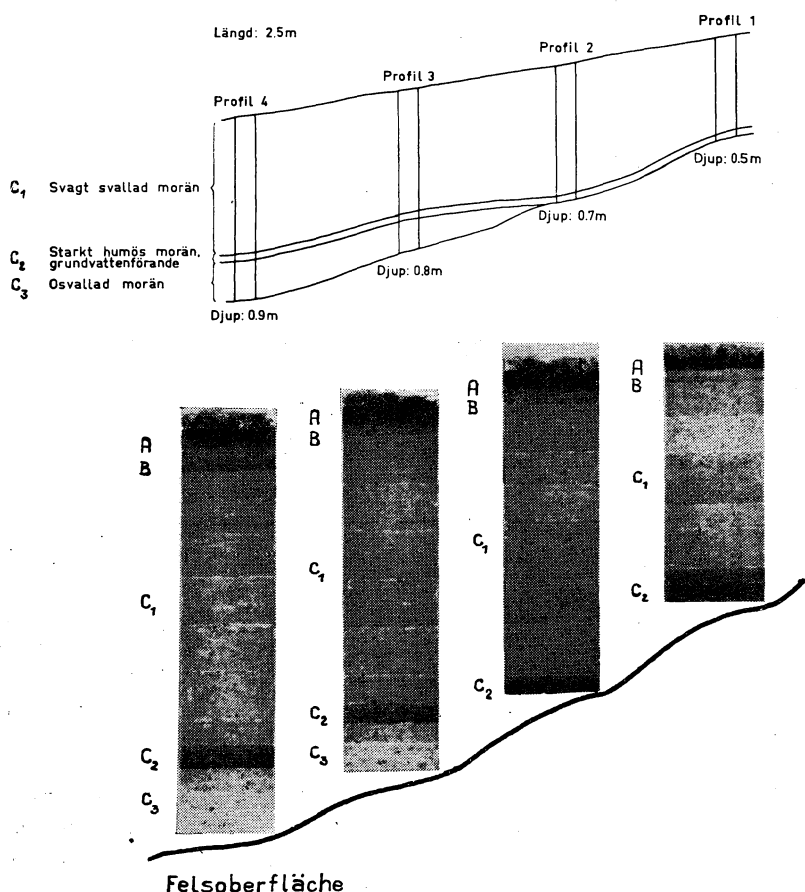


Fig. 29. Bilden visar schematiskt hur nederbörden infiltrerar utmed blottade hållar och sedan rinner i den svagt svallade moränen ovanpå den osvallade moränen. Analyser från de olika markskikten framgår ur tabell 45.

Schematische Darstellung der Infiltration des Niederschlagswassers entlang der Felsoberfläche in den oberen Teilen eines Hanges und in der schwach ausgewaschenen Moräne oberhalb der unausgewaschenen Moräne in den unteren Teilen des Hanges. Analysen der verschiedenen Bodenschichten finden sich in Tabelle 45. (Djup = Tiefe).

antal rotkanaler pr volymsenhet och för enkelhetens skull kunna vi anse att dessa ha samma diameter och är av lika längd. Med hjälp av DARCY'S lag och HAGEN-POISEUILLES lag är det möjligt att (se närmare t. ex. S. ANDERSSON 1952, 1953) få ett uttryck för permeabilitetskoefficienten k , som uttryckes i cm pr timme.

$$k = 1,4 \cdot 10^8 \cdot N \cdot r^4$$

där N = antalet rotkanaler pr ytenhet och r = radien av en dylik kanal (formeln är uppställd för strömmande vatten om 20° C temperatur). Ur denna formel erhålles tvänne viktiga samband, som givetvis endast äro approximativt giltiga i skogsmarken.

1. Genomsläppligheten är direkt proportionell mot antalet rotkanaler pr ytenhet.
2. Genomsläppligheten är direkt proportionell mot fjärde potensen av kapillärernas radie.

Dvs. en rotkanal som är 1 mm i diameter släpper igenom 10.000 gånger mera vatten än en rotkanal som är 0,1 mm. Följaktligen spela kapillärerna i marken en vida underordnad roll i förhållande till större rotkanaler. Detta är kanske erfarenhetsmässigt känt från en del vattensediment, men förf. vill hävda att det i lika hög grad gäller för en normal bottenmorän, då rotkanaler förefinnas i större mängd. Med rottrådarnas hjälp förmår sjunkvattnet att tämligen hastigt passera humuslagret och nå underliggande mineraljord. Är humustäcket tillräckligt mäktigt förmår det emellertid ofta — i enlighet med vattenabsorptionsförsöket — fördröja infiltrationen. Denna fördröjning är även beroende på hur djupt rotkanalerna når i marken. Från Bjurforsområdet har förf. en del okulära undersökningar, visande rötternas förmåga att tränga ner i marken. Det visar sig att större delen av rötterna vanligen ligger i humuslagret. Dessutom tränga en del ner i rostjorden, men därunder hittar man mera sällan ens några fina rottrådar, vilket icke hindrar att förf. på ända till 4 meters djup hittat en rottråd med ca 2 mm genomskärningsarea. Sådana fynd äro dock icke regel. Vanligt är att i den ytsteniga moränen stanna rötterna ovanför den stenfattigare delen av moränprofilen. Intill Gavelmossens östra sida (Bjurfors krp.) finnes en lång profil i ett grustag som överst har ett halvmetermäktigt moränliknande gruslager. I detta senare lager är markprofilen utbildad, rötternas verkan och förmodligen också en viss bearbetning av havet har gjort detsamma tämligen luckert. Detta övre lager gränsar med skarp diskordans mot ett stenigt grus, som är betydligt grövre. Trots detta går emellertid synbara rötter icke ner i det grova steniga lagret mer än i några få undantagsfall. På den övre ytan av detta steniga material har det utbildats ett rostrött, svagt sluttande lager, på vilket sjunkvattnet tydligen avrinne. Skogsmarken på denna lokal utmärkes av hög bonitet och synes ej vara påverkad av det egentliga grundvattnet. Saknas sålunda rotkanaler nedåt till detta bör nederbörden till stor del stanna i ytlagren och komma träden där till godo. Träden måste då helt leva på nederbörden ovanifrån.

Denna skildrade markprofil är ur rotsynpunkt särdeles typisk för Bjurforsområdet. Den förklarar varför lysimeterförsöken ej ge något vatten. Sommartid absorberas det mesta av nederbörden i humuslagret och den lilla del, som ej absorberas, stannar i det översta mineraljordsskiktet och når aldrig ca 50 cm under markytan, där förf. haft sina lysimetrar placerade. Det är min uppfattning att våra vanliga skogsträds rötter i huvudsak förekomma i humuslagret och där draga nytta av det kvarhållna nederbördsvattnet. Förf.'s rotundersökningar äro endast makroskopiska, men KALELAS (1949) noggranna rotstudier framvisa många belysande fakta i detta sammanhang. I genomsnitt gäller för såväl tall som gran att ca 87 % av rötterna ligga på 0—20 cm nivån. Under 20 cm finnes således blott ca 13 % av rötterna. På 40 cm djup förekomma praktiskt taget inga rötter. KALELA har vidare visat att rötterna på 10—20 år ha spridit sig i den zon, där de sedan kvarbliva, men som hos tall i 80-årsåldern åter minskar. För granens del infaller

minskningsperioden några tiotal år senare. Anhopningen av rötterna i de översta markskikten kan förklaras med att träden på ett ekonomiskt sätt söka utnyttja den nederbörd som faller på ytan och icke förmår att tränga vidare ner i marken. STÅLFELT (1937) har funnit att husmossans förmåga att suga upp vatten underifrån är tämligen begränsad. Följaktligen kommer husmossvegetation att bilda ett utmärkt skydd mot avdunstning, och rotzonen kommer att utgöra en slags vattenreservoir av betydelse för trädens vattenhushållning.

5. *Sammanfattning.*

I kapitel V: 3—5 har förf. funnit att lysimeterförsöken gävo negativt resultat i strävandena att påvisa sjunkvatten på olika djup i markprofilen. Även försöken med klorjoner och gödsling med lättlösliga salter (kap. V: 6 och V: 8) visade att sjunkvatten i hävdvunnen mening blott i obetydlig utsträckning existerar i markprofilens övre skikt. Dessa resultat ha ovan granskats medelst bestämningar av fuktighetens fördelning i markprofilen. Denna är sådan att där rimligtvis icke kan finnas annat än ytterst obetydligt med sjunkvatten på bred front. Urlakningen i marken skulle snarast vara följd av en diffusionsprocess. Resultaten understöddes av bestämningar av råhumustäckets vattenabsorption (kap. VI: 3). Ytstenigheten visade sig äga en viss betydelse för infiltrationen i de översta delarna av markprofilen. Dock syntes det underliggande lagret, där ytstenigheten upphör, vara tämligen infiltrationshindrande. Härtill bidrager det förhållandet att man på ytan av en osvallad morän får en »rostjord», som vid regnperioder till följd av sitt kolloid innehåll får en maximal vattenhalt (i olikhet med underlaget), vilken förhindrar eller försvårar fortsatt infiltration. Tillsammans borde alla dessa förhållanden i markens översta delar förorsaka att nederbörden fastlägges i ytlagen, och att någon urlakning näppeligen kan komma till stånd. Å andra sidan visade permeabilitetskoefficienten att bara någon enstaka rotkanal bör räcka till för att snabbt dränera bort ett nederbördsöverskott i markytan. Våra vanliga skogsträds rötter ha dock en begränsad förmåga att nedtränga till större djup enl. rotundersökningar av KALELA (1948).

Sammanfattningsvis må framhållas att sjunkvatten icke existerar på bred front i skogsmarken annat än i undantagsfall. Dessa resultat stämma vackert med STÅLFELTS (1944) undersökningar rörande granens vattenhushållning.

KAP. VII

Sammanfattande synpunkter på urlakningens kemi

I de föregående kapitlen har det visats att vi blott ha en obetydlig sjunkvattenrörelse i normal medelåldrig skogsmark. Den huvudsakliga avrinningen från skogsmarken sker såsom en »ytavrinning». I ytavrinning inbegripes därvid också exempelvis den avrinning i sidled som sker ovanpå en osvallad morän, som kanske täckes av 20—30 cm mäktigt svallgrus. Ytavrinning förekommer (se även kap. IV: 3) även ovanpå tämligen grova jordarter, såsom svagt svallade moräner, fin- och grovmojordar etc. Med hänsyn till att vi sålunda kunnat påvisa att ytavrinningen vida överväger sjunkvattnets nedåtgående rörelser måste den huvudsakliga urlakningen i skogsmarken förlöpa på ett annat sätt än vad man hittills ansett, i vårt humida klimat. Det nya betraktelsesättet medför därmed vissa nya synpunkter på förutsättningarna för podsoleringen i skogsmarken.

Med utgångspunkt från blekjordens vittringsgrad har man sökt bestämma omfattningen av den årliga urlakningen. O. TAMM (1920 s. 234, 1940 s. 122) har därvid visat att vittringen i blekjorden ej räcker till för att förklara de höga halterna av olika metallkationer som exempelvis HOFMAN-BANG (1905) erhållit i våra vattendrag. Helt nyligen har VIRO (1953) visat att Finland sedan istiden genom kemisk denudation förlorat ett i genomsnitt 3,3 cm mäktigt mineraljordslager. Visserligen är det de ur näringssynpunkt mest värdefulla mineralen som vittrat, men å andra sidan har denna vittring skett under en mycket lång tidrymd, varför de årliga förlusterna kunna anses vara små. Dessutom ha förf:s undersökningar visat (se bl. a. sammanställningen i nästa kapitel) att den kemiska vittringen i skogsmarken icke sker enbart i de översta markskikten, utan att även vissa djupare liggande jordlager och hållar svara för en väsentlig del av vattentillförseln och därmed katjontillförseln till vattendragen (se kap. VI: 4). Till yttermera visso är det påvisat att dränvatten som tvingas rinna igenom vattensediment i sänkor erhåller höga jonkoncentrationer.

Förf:s undersökningar ha även klarlagt att sjunkvatten på bred front betyder ytterst obetydligt för jontransporten mellan markytan och grundvattnet. Givetvis försiggår någon dylik transport i skogsmarken, men den får kanske mest betraktas som en diffusionsprocess. (Se kap. V: 6.) Följaktligen ligger EHRENBORG (1918) teori om att

sommarregnens nedträngande förmåga bestämmer B-horisontens läge nära till hands som förklaring. Både ytavrinningens stora omfattning och AALTONENS (1939, 1940) undersökningar, som visa att kolloidalt lösta oorganiska ämnen utfällas på större djup i unga skogsmarker än inom andra marker, styrka uppfattningen om att porositeten och nederbördens nedträngningsförmåga i marken äro betydelsefulla orsaker till att rostjord utbildas. Enligt AALTONEN kommer sålunda rostjorden att uppbyggas nerifrån, vilket såväl STEBUTTS (1930 s. 136) som MATTSONS och GUSTAFSSONS (1937) undersökningar synas bekräfta. Därmed är det ej sagt att den långsamma perkoleringen i skogsmarken ensam förorsakar B-horisontens uppkomst. MATTSON och GUSTAFSSON (1934, 1937) ha visat att organiskt material i kolloidal form bilda amfotära komplex med järn- och aluminiumoxid i B-horisonten. Dessa komplex fastläggas på olika nivåer i B-horisonten beroende på de olika, rådande pH-värdena med av dessa bestämda isoelektriska punkter för olika kolloidkomplex. Det har även framlagts andra förklaringar till ackumulationen i B-horisonten främst av humus, kiselsyra, aluminiumoxid + aq. och järnoxid + aq. (limonit), men med hänsyn till att urlakningen i skogsmarken till största delen sker genom ytlig avrinning, saknas här anledning att ytterligare diskutera podsolprofilens uppkomst. Givetvis är det en hel mängd faktorer som tillsammans möjliggöra podsoleringsprocessens förlopp; vilka som äro viktigast är en sak som kan vara olika på skilda lokaler. Vid fortsatta studier över podsoleringsprocesserna i skogsmarken blir det nödvändigt att utom till yt- och sidoavrinning även taga hänsyn till en ytterst långsam perkolering på bred front jämte diffusion. Skall man däremot studera den totala urlakningen i marken, bör man först och främst granska de olika metallkationernas transport via de vattenfraktioner, som relativt snabbt genom olika dräneringsbanor nå grundvattnet och vattendragen. Härvid blir det nödvändigt att taga hänsyn till de vattenförande skiktens kemiska sammansättning. Underlagets (C-horisontens) mineralogiska sammansättning kan därvid karakterisera avrinningsvattnets kemiska beskaffenhet.

Här nedan skall sammanfattas de kemiska resultat som framkommit ur mina vattenundersökningar.

Kiselsyra förekommer i de allra flesta markmineral som kvarts. Blekjorden är rik på kvarts som är tämligen resistent mot humusvittringen (O. TAMM 1920 s. 114), varför den kiselsyra som där går i lösning måste härröra från olika silikat. Den lösta kiselsyran vandrar såsom en negativt laddad kolloid, vilket gör att den ej fastlägges så effektivt i våra jordar utan föres ut till vattendragen i betydande mängder. Sålunda fann HOFMAN-BANG (1905) ända till 15,3 mg per liter i Byskeälvens vatten. Inom Grenholmen (kambrosilurpåverkad morän) får man i medeltal 15,7 mg SiO_2 per liter, medan friskmarksjordarna inom Bjurfors leptitgnejsområde i medeltal ge 12 mg/l. I sumpmarker inom Bjurfors, där silikatmineralvittringen är intensivare till följd av ett lägre pH-värde, blir SiO_2 -halten i medeltal 15,5 mg/l dvs. nästan lika hög som inom Grenholmens grundvatten. Inom lokalgrupperna II, III, VI och XI (se kap. IV:3)

inom Bjurfors kronopark har kisel syran nedanför sluttningarna en minimihalt av omkring 10 mg/l. Normal ursprungshalt, dvs. den som utlöses i samband med infiltrationen är ca 20 mg SiO_2 per liter. I normal moränmark där silningen är tämligen hastig fastlägges sålunda hälften av kiselsyrehalten efter en förhållandevis kort vattentransport. (Se lokalgrupp III kap. IV: 3.)

Aluminium förekommer i mycket låga halter i grundvattnet. I Bjurforsområdets grundvatten (friska marker) är medelvärdet 0,1 mg/liter, medan motsvarande marker inom det mineralogiskt betydligt rikare Grenholmen ha 0,3 mg/liter. Båda medelvärdena äro emellertid delvis missvisande med hänsyn till att aluminium uppträder synnerligen oregelbundet. Ibland äro halterna höga (0,6 mg/l) men ofta saknas aluminium helt (se exempelvis tab. 11). Inom järnhumus- eller humuspodsolernas grundvatten blir den genomsnittliga aluminiumhalten inom Bjurforsområdet 0,2 mg/l. Även O. TAMM (1931 s. 260) har påvisat att aluminiumhalterna äro betydligt högre inom sumpmarker än inom friska marker. Dock äro mina värden ej så höga som TAMMS.

I sluttningar med rinnande grundvatten fastlägges aluminium redan efter en mycket kort transportsträcka (fig. 9). Detta hänger givetvis samman med att aluminium ganska snart avsättes som en positiv kolloid. Märkligt är emellertid att ytvattnets halt av aluminium inom Bjurforsområdet är så hög som 0,3 mg/liter i medeltal. Dock innebär detta ej att dräneringsvattnet från hela Bjurforsområdet skulle innehålla höga aluminiumhalter. Aluminium fastlägges nämligen även efter en helt kort transportsträcka i ytvattnet. Momentant, i samband med ytvattnets bildande får emellertid detsamma tämligen höga aluminiumhalter, vilket väl stämmer med att 25 % av de vid vittringen i skogsmarken lösliggjorda ämnena bestå av Al_2O_3 (enligt O. TAMM 1920 s. 117) medan högst 2 % av de lösta beståndsdelarna i exempelvis Byskeälven bestå av aluminium- och järnoxid. — Så snart ytvattnet bildat sjunkvatten och nått rostjorden utfälls genast aluminium som kolloidal, vattenhaltig oxid därstädes, vilket redan AARNIO (1915) visat. Många gånger förhåller det sig så att rostjorden i en markprofil kommer till utbildning först där jordarten i fråga blir tillräckligt finkornig. I starkt svallade sluttningar bildar övergången mellan det i ytan liggande svallgruset och den osvallade moränen därinunder även en övergång mellan A- och B-horisonterna. Ytvattnet rinner ovanpå B-horisonten, vilket gör att det därmed bibehåller en viss aluminiumhalt relativt länge (se t. ex. kap. IV: 3, lokalgrupperna IV och VIII).

Järn. Under reducerande betingelser vandrar järnet i vattnet såsom ferrojoner men så snart oxiderande miljö förefinnes utfällas ferriföreningar varvid gleyhorisonter lätt uppstå. Dessa förhållanden framgå tydligt i fig. 15 och 18. Å andra sidan äro Fe^{2+} -halterna inom Bjurforsområdet betydligt lägre än vad O. TAMM (1926, 1931) erhållit i Västerbotten och likaså äro mina Fe^{3+} -halter i syderika vatten vanligen lägre än O. TAMMS. Dessa olikheter i järnhalter bero på att jag provtagit det i sluttningar rinnande vattnet, som oftast framrinner 10—40 cm under mark-

y t a n (beroende på svallzonens mäktighet) medan TAMMS analyser vanligtvis avse betydligt mera stillastående (om än syrerikt) grundvatten under rostjorden (anrikningsskiktet).

Grundvattenanalyserna från Bjurfors visa dessutom på järnhalter som helt överensstämmer med de, som förekomma i dränvattnet inom området (jfr exempelvis fig. 9 och fig. 21: lokal 21) eller i våra åar och älvar (jfr HOFMAN-BANG 1905). Detta vittnar om att det järn jag erhållit i grundvattnet till stor del består av ferroföreningar, som icke oxideras under transporten ner till dränagesystemet. Men om vi nu ha en betydande avrinning o v a n den osvallade moränen e. dyl. i skogsmarken (låt vara på visst djup i de lösa avlagringarnas svallzon) synes det antagligt, att den lösta syremängden i detta ytligt rinnande vatten är hög och att den ganska snabbt förorsakar en fastläggning av järnet som ferriföreningar. Syrehalten i detta silande vatten är emellertid låg (se exempelvis fig. 14, 15, 16, 17 och 18) och detta beror sannolikt på vattnets höga halt av humus, som binder syret. När ferroföreningarna nå öppna diken och andra dränagebanor bildas ferriföreningar, som trots sitt kolloidala tillstånd lätt följa med den snabba vattenrörelsen.

M a n g a n finns i ytterst små kvantiteter i vattnet, vanligen som Mn^{2+} eller Mn^{3+} . Det förekommer i en del mörka mineral och är där så hårt bundet att det stundom ej kan upptagas av växterna. Humussyrorna synas dock kunna reducera dess oxider (jfr MULDER 1950 s. 5). O. TAMM (1920) har sålunda funnit att en urlakning kan spåras i blekjordar medan någon märkbar anrikning ej kunnat skönjas i rostjorden. Det senare beror måhända på den av mig påvisade ytliga avrinningens betydelse. Tab. 16 och 17 visa emellertid att ytvattnet har väsentligt lägre manganhalter än grundvattnet. — Inom Grenholmenområdets kambrosilurpåverkade moräner är manganhalten i vattnet i genomsnitt 2,9 mg/l (TROEDSSON 1952) medan Bjurforsområdets leptitgnejsmoräners grundvatten praktiskt taget sakna påvisbara mängder (inom friska marker).

F o s f o r kan i jonform förekomma i grundvattnet som negativt laddade joner: PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} eller $H_2PO_4^-$. Större delen av den fosfor, som ej är bunden företrädesvis i aptit eller organiskt bunden i humustäcket, är adsorberad till markkolloiderna eller fastlagd såsom olösliga föreningar tillsammans med kalcium, järn eller aluminium. Grundvattnen inom försöksområdena liksom alla yt- och åvatten äro praktiskt taget fria från fosforsyra, som är ytterligt svår att bestämma viktanalytiskt om man ej har tillgång till stora vattenkvantiteter. Förf. har därför inriktat sig på att söka utnyttja s. k. papperskromatiska analysmetoder. Dylika, lämpade för förf:s ändamål, ha dock ännu ej hunnit utarbetas i en sådan utsträckning att analyser kunnat medtagas i detta arbete.

M a g n e s i u m utgör en huvudbeståndsdel i de mörka mineralen biotit, hornblände, augit, olivin m. fl. Vid den kemiska vittringen är magnesium ett av de lättast utlösbara beståndsdelarna i marken. Inom Bjurforsområdet fastlades magnesium efter en ganska kort transportsträcka. Dock erhåller rinnande grundvatten, där det kunnat

följas, ett minimivärde av 0,5 mg Mg^{2+} /l (se tab. 3, lokal VII). — Nedanför sluttningar finnas, exempelvis inom Bjurfors, finkorniga vattensediment såsom mjäla och lera, där från moränområden kommande vatten ända till tredubblar sin ursprungliga magnesiumhalt. (Detta förhållande framgår synnerligen vackert i fig. 21.) Efter ett sådant magnesiumtillskott får exempelvis dränagevattnet inom Bjurfors (jfr lok. 29 m. 9,21) 1,5 mg Mg^{2+} /l. Denna sistnämnda halt är normal för många av våra vattendrag (jfr HOFMAN-BANG 1905) eller för vattendragen i Finland (se VIRO 1953 s. 13). Inom Grenholmenområdet är den genomsnittliga magnesiumhalten i grundvattnet 4,2 mg Mg^{2+} /l och ytvattnet har en medelhalt av 1,3 mg Mg^{2+} /l. Här få vi sålunda samma halter i Grenholmens ytvatten som inom Bjurforsområdet. Sjunkvattnet inom Bjurfors har 2,3 mg Mg^{2+} /l dvs. en nära 5 ggr högre halt än vad det rinnande grundvattnet äger. O. TAMM (1921 s. 121) har ej funnit någon anrikning av magnesium i rostjorden. Det motsatta förhållandet hävdas av LUTZ och CHANDLER (1946 s. 358). Av mina undersökningar att döma fastlägges magnesium (se tab. 3 kap. IV: 3) efter en helt kort sträcka. Denna fastläggning beror emellertid sannolikt på jonbytesförhållandena med vissa humuskomplex.

Kalcium förekommer huvudsakligen i oligoklas, labradorit, anortit, apatit, hornblände och kalkspat. Enligt O. TAMM (1921 s. 122) synes det kalcium som urlakas, ej fastläggas på sin väg ut till havet. I Bjurforsanalyserna har ytvattnet (bäckvatten) 3,2 mg/l, sjunkvattnet (pressat) 12,8 mg/l och det grundvatten som rör sig långsamt inom plana (friska) moränområden 3,0 mg/l (samtliga halter äro medeltal). Det silande grundvattnet inom Bjurforsområdet innehåller 1,5—2,0 mg kalcium per liter vilket innebär, att detta vatten måste erhålla ett tillskott av kalcium sedan det lämnat moränområdena, innan det når vattendragen. Kalciumtillskottet kommer av allt att döma från dalgångarnas vattensediment eller från de där ofta förekommande sumpmarkerna (där grundvattnets Ca^{2+} -halt är 5,6 mg/l). Sjunkvattnets höga kalciumhalter vittna om att Ca^{2+} -joner finnas någorlunda rikligt adsorberade i en normal sandigmoig morän. Med hänsyn till kalciumjonernas lätta utbytbarhet borde grundvattnet hålla högre kalciumhalter än vad det har, om »bredfronts-perkoleringen» voro den huvudsakliga vägen för nederbörden att nå grundvattnet. Sammanfattningsvis kan framhållas att urlakningen av kalcium i skogsmarkens övre lager sker i en betydligt mindre omfattning än vad man skulle förmoda på grund av de höga Ca-halterna i sjunk- och grundvatten.

Natrium torde huvudsakligen förekomma som albit, dels tillsammans med kalkfältspat och dels i blandning med kalifältspat. — Som synes av tab. 38 har sjunkvattnet betydligt högre natriumhalter (ca 8 mg/l) än grundvattnet (2,8 mg/l) (tab. 12) inom Bjurfors. Den höga sjunkvattenhalten är intressant med hänsyn till att natrium i allmänhet har blott svag tendens att adsorberas av markkolloiderna. Jag tolkar den höga Na^{+} -halten i sjunkvattnet, som ett exempel på att nederbörden ej förmår att på bred front skölja igenom marker så att sjunkvattnets och grundvattnets halter komma att bli lika höga. Förhållandena äro desamma vad beträffar klorhalterna i marken (se kap. V: 6).

Kalium. Kalifältspat och kalinatronfältspat äro de viktigaste kaliummineralen. Kalium förekommer emellertid även uti plagioklaser samt glimmer. Enligt vissa undersökningar av JONES (1947) är det visat att kalium ganska snart lakas ur humusen i marken. Däremot fasthållas K^+ -jonen betydligt hårdare av själva jordpartiklarnas kolloider. Urlakningen i humusen är därför tämligen fullständig även vid helt små nederbördsmängder, vilket medför, att ett ytvatten som blir stående en kort tid kan få höga kaliumhalter (se fig. 11, 12 15 och 18). Följaktligen erhåller det rinnande grundvattnet i sluttningar i samband med infiltrationen tämligen höga kaliumhalter, som emellertid delvis fastlägges efter en kort transport (se fig. 9). I motsats till aluminium förekommer kalium i en viss s. k. minimihalt i grundvattnet. Denna minimihalt understiger sällan 0,4 mg/l. Förf. har använt sig av kvoten Al/K för att därmed kunna särskilja ytvatten från grundvatten (se kap. IV: 3). (I grundvattnet närmar sig Al-halten efter korta transporter värdet noll, se ovan.) — Inom Bjurforsområdet har grundvattnet 0,4 medan dräneringsvattnet från hela området har 0,8 mg kalium per liter, vilket innebär att även i detta fall tillföres kalium till grundvattnet vid det senares passage genom vattensediment, sumpmarker etc. Sjunkvattnet håller 3,0 och sjövattnet 0,4—1,7 mg kalium per liter. — I sluttningar, där grundvatten frambryter, har förf. påträffat höga kaliumhalter (7,0 mg/l). Där sådana källor frambryta sker gärna en viss anrikning av kalium, som förmodligen beror på att kolloidal kiselsyra besitter en hög adsorptionsförmåga för kalialter (EBNER och FELLNER 1911).

I samband med vissa försök att artificiellt pressa fram sjunkvattnet i ett jordprov har det kunnat påvisas att en utspädning av markvätskan ger sjunkvattnet låga halter av de flervärda metallkationerna medan de envärda metallkationerna öka. Det omvända förhållandet gäller vid en koncentrerings av markvätskan. Dessa förhållanden har kunnat förklaras med hjälp av den s. k. Donnan-jämvikten (se vidare kap. V: 7).

KAP. VIII

Översiktlig redogörelse för vattenfaktorn i skogsmarken

1. Sammanställning av undersökningsresultaten

Grundvattnets och ytvattnets egenskaper i skogsmarken

1. Grundvattnets jonkoncentrationer äro ofta mera betingade av den geologiska miljön än av markprofiltypen.
2. Provtagningsdjupet i ett grundvatten medför i allmänhet föga differenser i katjonkoncentrationerna.
3. Fastläggningen av olika metallkatjoner är undersökt i sluttningar med rinnande grundvatten. Resultaten från dessa undersökningar återfinnas i kap. IV.
4. Grundvattnet har provtagits under hela år. Snö, regn, torka, tjäle etc. påverka föga jonkoncentrationerna. En viss årstidsvariation erhålles dock.
5. Försök ha visat att i långa sluttningar erhålles ett grundvatten, rinnande på den osvallade moränen i understa delen av svallgruskappan. Sammansättningen av detta vatten skiljer sig föga från det mera stillastående grundvattnet inom plana (friska) marker.
6. Översilande vatten förekommer även på förhållandevis grova jordarter såsom exempelvis ovan en icke alltför starkt svallad morän.
7. I marken inställer sig en jonbytesjämnvikt tämligen snart. Detta är fallet även i sluttningar med starkt rinnande grundvatten. Jordarterna i dylika sluttningar kunna t. o. m. bestå av svallgrus, och ändå uppnås snabbt en konstant näringsämneshalt.
8. Inom ett plant område, där all sidoinfiltration är utesluten, erhålles ett grundvatten med konstant katjonhalt, som ej skiljer sig från de värden, som erhöles i det översilande vattnet i sluttningar. Sjunkvattnet rör sig mycket snabbt ner och uppnår en jonbytesjämnvikt med omgivande markkolloider på ett tidigt stadium. Denna jämnvikt bibehålles även sedan sjunkvattnet övergått till att bilda grundvatten. Sjunkvattnet kan sålunda icke ha perkolerat på bred front ner i marken, utan har begagnat sig utav rotkanaler o. dyl.
9. Smärre försumpningar med hög jonkoncentration, där försumpningen härrör från hållkar o. dyl. påverka vanligen ej ett skogsbestånds jämnhet.
10. Översilande vatten, som nedanför sluttningar tvingas passera vattensediment bestående av grovmo, finmo eller ännu finare jordarter, erhåller vanligtvis höga katjonhalter.

11. Dränagevatten i diken inom ett drygt 400 ha stort område inom Bjurfors kronopark har analyserats. Det visar sig därvid att detta ytvattens katjonhalter icke nämnvärt avvika från grundvattnets näringshalter.
12. Ytvattnet och grundvattnet äga karakteristiska skillnader framför allt i fråga om kalium-halten och aluminium-halten. Kaliumhalterna äro låga och aluminiumhalterna äro höga i ytvatten. Det omvända förhållandet gäller för grundvattnet. För övrigt äro skillnaderna oftast små mellan yt- och grundvattnet inom samtliga undersökta lokaler. Största skillnaderna finnas inom mineralogiskt rika jordar (dvs. lerjordar och andra jordar rika på basiska mineral osv.).
13. Blir ett ytvatten stående i markytan en längre tid, erhåller detta även inom områden med mineralogiskt rika jordarter en lika hög katjonhalt som grundvattnet inom motsvarande område. Denna koncentration kan icke förklaras medelst avdunstning.

Sjunkvattnets egenskaper i skogsmarken

1. Det på bred front perkolerande sjunkvattnet har betydligt högre jonkoncentrationer än det sjunkvatten som följer rotkanaler o. dyl.
2. Lysimeterförsök inom Bjurfors, Röskär och Jägarhyddan visa att en mycket liten del av nederbörden når grundvattnet på bred front.
3. Lysimeterförsök visa, att sjunkvattnets katjonhalter vida överstiga grundvattnets och ytvattnets halter, vilket tyder på att rörelser nedåt av sjunkvattnet på bred front äro mindre vanliga.
4. Vid studier av sjunkvattnet på laboratoriet medelst pressningsmetoden visade sig lysimeterresultaten verifierade. Det frampressade sjunkvattnet har halter som motsvara katjonhalterna i lysimetrarnas sjunkvatten.
5. Gödslingsförsök å Mølne försöksfält synes visa långsam urlakning genom nedåtgående rörelse av sjunkvattnet.
6. Klorförsök på Röskär visa att en lätturlakad klorjon behöver förmodligen ett flertal år för att med hjälp av sjunkvattnet på bred front nå grundvattnet.
7. Det sjunkvatten, som på bred front når grundvattnet, är så olika ytvattnet och grundvattnet betr. den kemiska sammansättningen, att det är föga troligt att denna långsamma vattenrörelse har någon nämnvärd betydelse för nederbördens infiltration till grundvattnet. Större delen av nederbörden går genom sprickor och rotkanaler direkt och relativt snabbt till grundvattnet.

Undersökningsresultat rörande nederbördens infiltration i skogsmarken

1. Ett flertal faktorer bidraga till en snabb urlakning i marken såsom porositet, blockhalt, markstruktur, topografi, fuktighetshalt, rotkanaler etc. Dvs. nederbörden har många vägar att välja på utan att behöva perkolera på bred front.

2. Fuktighetshaltsbestämningar på laboratoriet visa, att en sandig-moig morän bör äga en minimihalt av 13 viktsprocent fuktighet för att perkolering på bred front överhuvud taget skall kunna ske. Fältbestämningar visa, att det finnes en zon strax under B-horisonten, där fuktigheten under året icke överstiger 5 %. Perkolering på bred front är således otänkbar där för ett fritt nedsipprande sjunkvatten.
3. För att öka 5 % fuktighetshalt till 13 % åtgår det 80 l regnvatten per m³. På 3 meters djup åtgår således i Mellansverige ca 240 l dvs. nästan hela avrinningen.
4. Vid större nederbördsmängder visar det sig, att ett normalt vegetationstäck med husmossor har förmåga att suga upp ända till 100 % av all nederbörd, utan att någon infiltration sker till underliggande mineraljord.
5. Undersökningar medelst vattenståndsrör visa, att infiltrationen sker mycket snabbt utmed berghällar.
6. 10 mm nederbörd förorsakar på grund av bl. a. trycktebildning på vissa lokaler mer än 100 mm höjning av grundvattennivån.
7. Att urlakningsvattnet företrädesvis rinner utmed hållar visas av det förhållandet, att det närmast hållen finnes ett mineraljordskikt, som är i hög grad vittrat (bas-mineralindex 6). Mörka mineral saknas, och lagret är starkt humöst. Ovanför det samma uppgår basmineralindex till 15, vilket är normalt för C-horisonter i det undersökta området.
8. Resultaten visa, att det ej är möjligt, att en någorlunda betydande vattenrörelse på bred front existerar. Det är uppenbart att blockhalt, rotkanaler, hållar, sprickor m. m. räcka väl till för att sörja för den vattenavrinning som sker från ytan till grundvattnet.

2. *Hydrologiska synpunkter på markens urlakningsförhållanden i Mellansverige*

I det föregående har visats att vi äga en obetydlig sjunkvattenrörelse på bred front i skogsmarken mellan markytan och grundvattnet. Emellertid ha observationer vid Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut varje år givit avrinningsvärden som i Mellansverige ligga mellan 30—50 % av den totala nederbörden. Det är då uppenbart att vattnets rörelse mellan markytan och grundvattnet icke enbart sker genom perkolering på bred front. Även andra vägar, som betydligt snabbara leda till grundvattnet måste tagas i anspråk. Sådana sjunkvattenvägar skulle vara rotkanaler och dräneringsbanor utmed hållar eller orsakas av stenighet och ytlig avrinning i sluttningar på osvallad morän och liknande. Av intresse vore att veta i hur stor omfattning dessa olika dränerande faktorer svara för avrinningen.

Förf:s lysimeterförsök visa att på 0,5 meters djup erhålles maximalt 12,6 % av den totala årsnederbörden. Tages detta värde som utgångspunkt för beräklandet av den årliga avrinningen från skogsmarken, så får man därvid anse att i dessa 12—13 %, som tänkas nå grundvattnet, inberäknas — inom plana områden — dels perko-

lering på bred front, dels vattentransport genom rotkanaler, i stenrika lager etc. Förvisso är 13 % en alltför hög siffra (jfr kap. V: 3) men i nedanstående balansräkning skola vi använda den.

Medelnederbörden för Bjurforsområdet är för åren 1927—1953 655 mm. Avdunstningen bör vara ca 373 mm (enligt O. TAMM 1954) och avrinningen blir sålunda 282 mm. Av dessa skulle ca 85 mm (13 % av årsnederbörden) nå grundvattnet på ovan beskrivna sätt. Resterande avrinning blir 197 mm, som av allt att döma måste nå grundvattnet genom ytaavrinning, hållavrinning etc. Från hydrologisk synpunkt anser TRYSELIUS (1946) att man kan räkna med ca 20 % i avdunstningsförluster för avrinningen utmed hållar. Omkring 80 % av den på hållar fallna nederbörden skulle sålunda totalt nå grundvattnet. Det torde innebära stora svårigheter att exakt bestämma avrinningen från hållmarker, men det värde TRYSELIUS (1944) anfört stämmer väl överens med förf:s vattenståndsmätningar och vittringsundersökningar (kap. VI: 4). För att närmare granska i hur stor omfattning avrinningen är beroende av hållar måste uppgifter om den verkliga hållmarksarealen erhållas. Enligt riksskogstaxeringen föres all hållmark vars produktivitet är lägre än 1 m³/har till impediment. Förekommer hållmark, som har en högre produktion än den nämnda, blir den överförd till produktiv skogsmark. Uppstickande hållar vittna om tunna moräntäcken och mera sällan bilda dessa hållar stora sammanhängande partier med så pass låga boniteter att de kunna anses som impediment. Riksskogstaxeringens resultat kunna därför absolut ej (såsom TRYSELIUS

Tabell 47. *Jämförelse mellan arealfördelningen inom S. Dalarna från dels skoglig produktionssynpunkt och dels geologisk synpunkt.*

Vergleich zwischen der Arealverteilung in Süd-Dalarna teils vom forstlichen Produktionsblickpunkt und teils vom geologischen Blickpunkt.

Arealfördelning enl. riksskogstaxeringen. Arealverteilung entsprechend der staatlichen Forstschätzung.		Arealfördelning enl. geologiska kartbladet Avesta. Arealverteilung entsprechend dem geologischen Kartenblad Avesta.	
Inägor + hagmark	21,7 %	Vattensediment	24,3 %
Landwirtschaftliche Nutzfläche		Wassersediment	
Skogsproduktiv mark	62,2 %	Morän	62,9 % { 14,9 %
Produktiver Waldboden		Moränen	
Försumpad skogsmark	3,1 %	Hällmark	
Versumpfter Waldboden		Felsboden	48,0 %
Kalmark	3,5 %	Myr	12,8 %
Kahlboden		Moor	
Myr	8,5 %		
Moor			
Hällimpediment o. vägar	1,0 %		
Felsimpediment u. Wege			
	100,0 %		100,0 %

1944 antagit) giva några upplysningar om den faktiska hållmarksarealen. För att erhålla uppgifter om den totala hållmarksarealen är det därför betydligt bättre att utgå från de geologiska kartbladen.

I ovanstående tabell har en jämförelse gjorts mellan riksskogstaxeringens arealuppgifter och en av förf. utförd arealberäkning å det geologiska kartbladet Avesta.

Av ovanstående tabell framgår att även om de båda arealfördelningarna icke redovisa geografiskt exakt samma område äro överensstämmelserna goda mellan markslagen. Inägor och hagmark bilda tillsammans 21,7 % eller ungefär samma totalareal som vattensedimenten. På samma sätt upptager riksskogstaxeringens skogsproduktiva mark samma areal som morän + hållmark å det geologiska kartbladet. Man kan omedelbart draga den slutsatsen att en mycket liten del av hållmarken har en produktion som understiger 1 m³/har. Nära 15 % av totalarealen (sjöarealen ej inräknad) inom denna del av bergslagen utgöres sålunda av hållmarker och av den totala skogsmarksarealen blir hållmarken nära 24 %. Avrinningen från den skogsproduktiva marken kan därför beräknas enligt följande tabell.

Tabell 48. Beräknad årlig avrinning från medelålders barrblandskog å morän.
(Bjurfors kronopark).

Die berechnete jährliche Ab rinnung in gemischtem Kiefern-Fichtenbestand mittlerer Altersklasse auf Moränen. (Staatsforst Bjurfors).

Arsmedelnederbörd för Bjurfors kronopark (1928—1935) = 655 mm

Jahresmittel der Niederschläge für Staatsforst Bjurfors

Arsmedeltemperatur för Bjurfors +5° C

Jahresmittel der Temperatur für Bjurfors

$A = 30,4 \cdot 5 + 220,9 = 372,9$ (nach O. TAMM 1954 a)

Avrinningen (Die Ab rinnung) = $655 - 372,9 = 282,1$

Arealfördelning enl. geologiska kartbladet Avesta:

Die Arealverteilung nach dem geologischen Kartenblad Avesta:

	% av total landareal % vom totalen Landareal.	% av total skogsareal % vom totalen Forstareal.	Avrinning i mm Die Ab rinnung in mm	Avrinning i % av total nederbörd Die Ab rinnung in % der totalen Niederschlags- mänge
Hållmark	14,9	23,8	$23,8 \cdot 655 \cdot 0,8$	19,3
Felsboden			100	
Morän	48,0	76,2	$282,1 - 124,5 = 157,6$	24,0
Moränen				

Maximal nedrinning vid lysimeterförsök (tab. 29) = 12,6 % av total nederbörd

Maximales Einsickern bei Lysimeterversuch (tab. 29) des totalen Niederschlages

Resterande, ej redovisad avrinning = $24,0 - 12,6 = 11,4$ %

Die restierte, nicht berechnete Ab rinnung.

Av ovanstående tabell framgår att 11,4 % av avrinningen är oredovisad, dvs. lysimeterförsöken kunna icke förklara hur detta tillskott kommer ner till grundvattnet. STÅLFELT (1944) har på experimentell väg visat att granen under vissa förhållanden helt kan dränera en mark och sålunda ej tillåta nederbördsvattnet nå grundvattnet. Efter som förf. undersökt perkoleringsförhållandena i medelålders, slutna barrblandbestånd med husmossor är det högst sannolikt att STÅLFELTS (1944) resultat äro giltiga även i detta fallet, dvs. när det gäller perkoleringsförhållandena på plan mark. I jämförelse med STÅLFELT har förf. visserligen fått tämligen höga lysimetervärden, men Bjurforsvärdena avse väl att märka blott 0,65 m djup i sandig-moig morän. Till större djup når knappt 1 % av den årliga nederbörden, dvs. här äro resultaten helt överensstämmande med STÅLFELTS värden. Att förf. ändock valt ett lysimetervärde på 0,65 m djup betingas dels av att moränerna ofta äro tunna i Bergslagen och dels av en önskan att jämföra förf:s maximala lysimetervärde med Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Instituts avrinningsvärden för att undersöka dessa senares giltighet inom plana, skogsproduktiva moränmarker. Men trots detta förfarande synes det ofrånkomligt att vi på plan mark i medelålders barrblandskog få praktiskt taget ingen tillförsel till grundvattnet. Även beståndens ålder, slutenhet osv. kunna givetvis påverka avrinningsförhållandena för de här undersökta markerna. På exempelvis ett hygge, där det gamla beståndets rötter mer eller mindre förmultnat kan man förvänta att de där ännu kvarvarande rotkanalerna öka tillförseln av nederbördsvatten till grundvattnet.

Förf. har sålunda kunnat påvisa att hållprocenten, jordartens mäktighet och beståndens ålder samtliga äro av stor betydelse för möjligheten för nederbördsvattnet att inom plana marker nå grundvattnet. Men även när dessa faktorer äro gynnsamma härför framgår av föregående tabell att ca 11 % (och betydligt mer om jordarten äger större mäktighet) av nederbörden måste nå grundvattnet på något annat sätt än genom rotkanaler, hållar etc. (Dessutom är det icke säkert att 80 % av den nederbörd som faller på hållmark når grundvattnet). Förf. hävdar — med stöd av undersökningen i kap. IV:3 — att ytavrinningen utmed sluttningar, på osvallad morän, på svagt svallad morän, ja, t.o.m. på mojordar är av så stor omfattning genom att vårt land oftare är kuperat än plant för tillförsel av nederbördsvatten till våra vattendrag att den helt uppvägar de deficit i avrinningen som medelåldriga barrblandbestånd på plana moränmarker förorsaka till följd av trädens vattenförbrukning (se STÅLFELT 1944).

Sammanfattningsvis kan sålunda framhållas att förf:s undersökningsresultat, som bl. a. visat att vi nästan sakna

en vattenrörelse på bred front i skogsmarken, icke motsägas av de avrinnings-siffror som erhållits vid Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. Större delen av den årliga nederbörden når sålunda antingen som översilande ytvatten till våra åar och älvar eller sipprar utefter hållar ner till vattendragen. (Se kap. VI:4.) Följaktligen är det att förvänta att »ytvattnet» i skogsmarken äger samma kemiska sammansättning som sjö- och älvs-vatten. Jämförelser mellan »ytvattnets» och grundvattnets och bäck- och åvattnets kemiska sammansättning inom Bjurforsområdet ha tidigare gjorts i detta arbete (kap. IV:4:a) och vi skola i tabell 49 sätta de erhållna värdena i samband med de katjonhalter som erhållits i omkringliggande sjöar och vattendrag.

Sjunkvattenanalyserna avse lysimetervatten inom resp. försöksområden. Det pressade vattnet härrör från en vattenmättad sandig-moig morän som pressats på laboratoriet. Ytvattenanalyserna från Bjurfors kronopark äro hämtade från bäck- och åvatten. (Se kap. IV:4:a.) De övriga ytvattenanalyserna äro hämtade från LOHAMMAR (1938), som analyserat sjövattnet inom vissa områden i södra Dalarna och därintill gränsande landskap. Analyserna från Dalälven äro gjorda av förf. och provtagningen skedde strax ovanför Avesta stadsgräns.

Egendomligt nog synes ytvattnet i bäckar och åar inom Bjurfors kronopark ha en högre elektrolythalt än vad grundvattnet inom friskmarksjordar äger. Som förf. kunnat visa i kap. IV:3 beror detta på att det i sluttningar översilande vattnet (ytvatt-

Tabell 49. Jämförelser mellan grundvattens, sjunkvattens och ytvattens kemiska sammansättning.

Vergleich zwischen der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers, des Sickerwassers und des Oberflächenwassers.

	Grundvatten Grundwasser				Sjunkvatten Sickerwasser				Ytvatten Oberflächenwasser					
	Friskmark Normaler Waldboden	Sumpmark Sumpfboden	Rinnande		Bjurfors	Röskär	Jägarhyddan	Pressat Gepresst	Bjurfors	Vatbosjön	Hönsan	Dornen	Fatburn	Dalälven
			Hällar Felsboden	Osvallad morän Ungewascht Moränen										
Na	2,8	3,7	2,1	6,0	5,5	5,4	9,1	8,7	5,1	1,4	4,3	1,6	3,6	4,6
K	0,4	0,7	0,5	0,4	4,7	5,1	3,7	3,0	0,8	0,4	0,5	0,5	1,7	2,0
Mg	1,3	1,0	0,8	1,0	2,3	2,0	1,8	—	1,5	1,0	4,7	1,2	3,7	6,7
Ca	3,0	5,6	2,0	1,5	7,0	5,3	2,6	12,8	3,2	2,8	19,2	4,8	9,9	30,1
pH	6,6	6,4	6,2	6,3	6,3	6,4	6,2	7,0	6,8	6,6	7,8	7,1	7,7	6,9
$\kappa \cdot 10^{-6}$	32	59	30	31	120	137	118	150	43	29	135	40	90	104

net) tvingas att nedanför sluttningarna rinna över eller mer eller mindre igenom de i sänkorna liggande vattensedimenten. Bl. a. på grund av dessa jordarters finkornighet (se vidare kap. IV:3 och kap. IV:4: a) får det från sluttningen kommande vattnet de i tabell 49 angivna katjonhalterna.

På samma sätt förhåller det sig med LOHAMMARS (1938) sjövattnet. Vatbosjön omgives t. ex. helt av morän och erhåller då en låg katjonhalt i sitt vatten. Dormen har en del vattensediment och för Fatburn blir omkringliggande moränarealer små medan Hönsan i sin närmaste omgivning helt saknar moräner. Ju mera vattensediment desto högre ledningsförmåga i vattnet. Dalälvens katjonhalter äro mycket höga vilket givetvis även har sin förklaring i omgivande bebyggelse.

Tabell 49 visar sålunda att så länge ytvattnet rinner på hållar, i eller ovan morän, så är katjonhalten likantad. Så snart vattensediment förekomma eller de rinnande vattenslagen tvingas passera dylika lager blir katjonhalten hög.

På samma sätt förhåller det sig i moränmarker där perkoleringsvattnet går på bred front ner genom marken. I tabell 49 erhållas de högsta katjonhalterna i det pressade »sjunk»-vattnet, vilket kan förklaras med att sjunkvattnet här tvingas att på bred front gå igenom moränjorden. Följaktligen anser förf. att de lägre katjonhalterna i sjunkvattnet från lysimeterförsöken bero på att bl. a. rotkanaler svarat för nederbördevattnets transport till djupare lager. Samtidigt visa sjunkvattenanalyserna att inom plan moränmark rotkanalerna torde svara för en förhållandevis låg andel av den totala nederbördens perkolering till grundvattnet.

ARRHENIUS (1952, 1954) har sammanfattat ett stort antal av de brunnsvattenanalyser som under ett flertal år utförts vid Statens Institut för Folkhälsan. Dessa analyser skola vi icke närmare gå in på här utan endast konstatera att de väl överensstämmer med förf:s sjunkvattenanalyser. ARRHENIUS brunnsvatten ha emellertid en högre jonkoncentration än vad förf:s grundvatten uppvisa. Orsakerna härtill torde vara för det första att brunnar vanligen äro belägna i sänkor inom odlade områden vilket medför att från ytan kommande vatten även här måste passera finkorniga vattensediment och för det andra så kan man räkna med att brunnsvattnet ofta är förorenat och detta är kanske vanligt vad beträffar de vattenprov, som insändas för analys vid folkhälsoinstitutet.

Vi ha i detta avsnitt sökt sätta förf:s huvudresultat in i sitt stora sammanhang, genom att diskutera resultaten i relation till avrinningsvärden och vattenanalyser från tidigare utförda arbeten. Förf:s resultat styrkas väl av de avrinningsvärden som Meteorologiska och Hydrologiska Institutet varje år uppmäter. Dessutom synas tidigare utförda vattenanalyser från sjöar (LOHAMMAR) och brunnar (ARRHENIUS) ytterligare styrka förf:s uppfattning om att ytvattenavrinningen i dess vidaste bemärkelse i skogsmarken är av större betydelse för tillförseln av nederbördevatten till vattendragen än »bredfrontsperkoleringen».

Som en viktig följsats må framhållas att urlakningen i skogsmarker på morän torde

vara mindre än den som kommer från de vattensedimentära områdena. Vi skola därför ej vid betraktandet av t. ex. HOFMAN-BANG (1904) eller ERIKSSONS (1929) älv- och flodvattenanalyser därav sluta att den kemiska denudationen inom ett vattenområde är lika stor överallt. Inom plana, skogbärande moränmarker måste den årliga denudationen vara avsevärt mindre än inom odlade områden.

3. *Undersökningens resultat från skogligt praktisk synpunkt*

I vårt land med dess humida klimat ha vi sedan inlandsisens avsmältande haft en ständigt fortgående urlakning av näringsämnen i skogsmarken. Denna urlakning är resultatet av en varierande vittring; blekjorden utgör som bekant den mest pregnanta vittringshorizonten. Även i andra viktiga zoner har vittring av mig kunnat påvisas (kap. VI), nämligen mellan berghällen och ovanför liggande morän, mellan den packade bottenmoränen och ovanför liggande ytmorän, mellan den osvallade och svallade moränen osv. Det är tydligt, att mellan blekjorden och de av mig påvisade vittringshorisonterna finnes det vanligen mer eller mindre svagt vittrade skikt av växlande, stundom betydande mäktighet vilket även O. TAMM (1920 s. 247) påvisat. (Jfr AALTONEN 1939, 1941.)

Med hänsyn till mina undersökningsresultat får det anses fastslaget att nederbörden icke eller mycket obetydligt nedtränger i marken på bred front till något större djup. Ytavrinning, rotdränering och hållavrinning äro däremot av den största betydelse för tillförseln av vatten från skogbevuxna områden till våra vattendrag. Där grundvattenytan ligger på större djup än 2 à 3 meter kommer humustäckets förmåga att binda nederbörden att spela en stor roll för skogen och växtligheten överhuvud taget. En stor del av skogsträdens rötter ligga också i de ytliga markskikten (enligt KALELA 1948). I den friska husmosskogen har jag påvisat att praktiskt taget all nederbörd temporärt bindes i marktäcket under vegetationsperioden. Den obetydliga del av nederbörden, som förmår att nedtränga till mineraljorden, undgår förmodligen nästan helt avdunstning till följd av marktäckets skydd. Även i svaga sluttningar har jag kunnat påvisa en vattenrörelse mellan humustäcket och mineraljorden, så snart denna senare hunnit vattenmättas (se kap. VI:4) i sitt översta skikt. I moränmark, som sällan är riktigt plan, erhålles då en ytlig avrinning, som uteblir, om humustäcket är tillräckligt mäktigt eller om jordarten är grov. I det senare fallet är det föga troligt att skogsträden förmå utnyttja det överskottsvatten som momentant uppstår efter ett regn. Å andra sidan får emellertid humustäcket ej vara alltför mäktigt. Mäktig råhumus resp. torv fasthåller nederbörden som ej heller i detta fall helt kommer trädens rötter tillgodo. Skogsmark i Norrland, som lätt lavhävdas till följd av utglesning, får ett allt tunnare humustäcke, som visserligen medför att nederbörden snabbt når mineraljorden, men som å andra sidan medför en effektivare avdunstning från denna. Tjälas dylika marker blir ytavrinningen i samband med snösmältningen stor.

Även större nederbörds mängder under vegetationsperioden kommer enligt det ovan anförda att i huvudsak fastna i de översta husmosskikten. Är en moränmark emellertid

ytstenig eller ytblockig, kan vattnet även vid låg nederbörd (10—20 mm) följa blocken och stenarna och därmed utan att absorberas av marktäcket nå trädens rötter. Ytstenighet medför dessutom högre temperatur i marken än eljest. Det är då ej förvånande, att steniga och blockiga jordar stundom äro goda skogsmarker. VIRO (1947 s. 114) hävdar emellertid att en hög stenhalt i marken förorsakar en låg finjordshalt — varur träden i huvudsak taga sin näring — och därmed skulle dylika lokaler enl. VIRO få anses utgöra sämre ståndorter. VIROS uppfattning torde vara riktig i de fall då block- och stenhalten är så hög och finpartiklar $< 0,2$ mm nästan helt saknas. Sådana skogsjordar förekommer i vårt land där det senglaciala havets spolning varit mycket kraftig.

I det moderna norrlandsskogsbruket sker föryngringen som bekant på stora hyggen. Bränning eller lavhävning ger möjligheter till självföryngring. Under de senaste åren har plantering i stor utsträckning föredragits framför sådd på hyggen. Vid dessa föryngringsåtgärder är det i huvudsak tallen som kommer i fråga. Mosshävningen i de unga tallbestånden går långsamt, och blir omfattande först i medelåldriga, mera slutna bestånd. Med hänsyn till att vattenförsörjningen är mycket viktig under vegetationsperioden, och att fuktigheten i humustäckets i synnerhet på mäktiga moräner, resp. sand och grus o. d., visat sig vara av särskilt stor betydelse, borde en mosshävning i dessa ungtallbestånd helst snabbt komma till stånd. I markförbättrande syfte förordar förf. därför att en viss, befintlig graninblandning på dylika marker ej borttages, vilket skulle fördröja mosshävningen (jfr O. TAMM 1920 s. 244) och därmed försämra vattenförhållandena. Naturligtvis får man ej tolerera så mycket granbuskar, att de nämnvärt förmå genom konkurrens nedsätta tallens tillväxt och de få naturligtvis aldrig kvarlämnas på ett hygge.

Till följd av att nederbörden under vegetationsperioden i så hög grad bindes i humustäckets, kommer urlakningen av de olika växtnäringsämnen att bli av helt underordnad betydelse på plana marker. Näringsämnenas cirkulationsförlopp mellan de översta marklagren och träden sker tydligen med små förluster. Hela skogsmarkens gödslingsfråga (se BJÖRKMAN 1954, C. O. TAMM 1954 a, C. O. TAMM 1954 b) kommer sålunda teoretiskt i ett gynnsammare läge genom förf:s påvisande av att det i skogsmark normalt föreligger en ytterst långsam urlakning på bred front av lösliga näringsämnen ur de övre lagren där rötterna företrädesvis gå. I sluttningar bli förhållandena annorlunda med hänsyn till den i kap. IV: 3 påvisade ytavrinningen. Men å någorlunda plana, normala moränmarker anser förf. att det är möjligt att tillföra näringsämnen i en sådan omfattning att de under en lång följd av år, ja kanske t. o. m. under en hel omloppstid, skulle kunna gynnsamt påverka träden. Väsentliga problem att lösa för gödslingens eventuella, framtida genomförande i svensk skogsmark, när skogsbrukets ekonomi det tillåter, blir givetvis val av gödselmedel, det tekniska förfaringssättet och tidpunkten för gödslingsåtgärdernas insättande.

Perkoleringen på bred front i våra skogsmarker är som visats av mycket liten betydelse för tillförseln av dränagevatten till bäckar och åar. Ytlig avrinning och hållavrinning spela däremot en väsentlig roll härvidlag, och det är uppenbart att man måste ta

ga en större hänsyn till dessa dränagebanor än som hittills skett. Redan HÖGBOM (1906) hade klart för sig ytaavrinnings betydelse. Det är ju ett välbekant faktum att mycket höga boniteter finnas i översilade och genomsilade sluttningar. I utglesade bestånd eller trasbestånd i sluttningar med vattensilning förekommer det ännu att man underhåller dikningar, som äro utförda så att de snett avskära nivåkurvorna. Den uppenbara skadligheten i många fall av en sådan dikning framstår tydligast om man undersöker det årliga näringsutbudet i det rinnande vattnet. Enligt TROEDSSON (1952) kan man räkna med följande utbud av näringsämnen i en sluttning med lutningen 1:6, där jordarten utgöres av en leptitgnejsmorän (dvs. mineralogiskt sett en normal morän): ca 40 kg kalcium/har och år, 17 kg magnesium, 40 kg natrium och 5 kg kalium. I Bergslagen få t. o. m. kalkälskande växter, såsom blåsippan, lätt sitt kalkbehov tillfredsställt genom en kontinuerlig vattensilning, detta trots låga kalciumhalter i själva vattnet. Alla dikningsföretag i dylika sluttningar böra utföras med största försiktighet så att man ej skadar mer än managnar.

Det synes som om *Dryopteris*-skogarna ofta i norra Sverige förekommer i sådana sluttningar där påtaglig vattensilning förefinnes. Är denna kontinuerlig (dvs. marken hinner ej torka ut i någon högre grad mellan nederbördsperioderna), blir *Dryopteris*-typen mycket stabil, oavsett tillståndet i det ifrågavarande beståndet. (Jfr MALMSTRÖM 1926 s. 42.)

I detta sammanhang må framhållas faran av att allt för mycket dika ut sumpmarker. Med hänsyn till att ytaavrinningen eller översilningen av nederbördsvatten spelar en väsentlig roll för skogsmarkens vattenförsörjning, utgör sumpmarkerna betydelsefulla vattenreservoarer. Avrinningen till vattendragen eller den fortsatta översilningen från myrar och sumpmarker till eventuellt nedanför liggande terräng skulle därvid avtaga eller helt upphöra.

En ofta återkommande fråga har varit att i vårt land söka införa främmande trädslag, som genom ett effektivare utnyttjande av marken skulle medföra en högre produktion än våra vanliga barrträd. I mitt arbete har det framhållits att träden i sluttningar ha relativt ytliga rötter, som till följd av det översilande vattnet oftast äro svagt utvecklade. Barrträdens rötter behöva icke gå på djupet för att erhålla näring och följaktligen kan man förmoda att marken icke utnyttjas tillräckligt. I sluttningar med översilande vatten vore det sålunda motiverat att antingen på genetisk väg höja våra inhemska trädslags produktion, eller att införa främmande trädslag.

Å andra sidan är det uppenbart att så snart översilning av marken saknas, blir boniteten ofta mycket lägre. Jordarten och även podsoleringen kunna vara rätt likartade, medan egentligen endast vattenförhållandena i stort äro olika. Dessa omständigheter peka på att vattenfaktorn är av avgörande betydelse för boniteten. Skulle vi söka höja boniteten genom mera snabbväxande trädslag och raser är det mycket troligt att vattenfaktorn blir en begränsande s. k. minimifaktor. Vissa torra råhumusmarker i södra Sverige ha givit förf. den uppfattningen att den låga nederbörden och den höga avdunstningen äro de faktorer, som begränsa möjligheterna till en ytterligare ökad produktion (jfr klorförsöken från Knisslinge kap. V: 6).

Detta styrkes starkt av STÅLFELTS (1944) undersökningar som klart visat att en växtkraftig granskog förmår att helt dränera en mark och effektivt förhindra all tillförsel av nederbörd till grundvattnet. Av STÅLFELTS undersökningar liksom av mina egna får man emellertid ej draga den slutsatsen att i en framtid, då ordnad skogsskötsel medfört högsta möjliga produktion av tall och gran i hela landet, skulle tillförseln av vatten till våra vattendrag i avsevärd grad minska. Detta är ej tänkbart beroende dels på att landet aldrig kommer att helt täckas av slutna bestånd utan kalytor, och dels på att de trädslag vi äga medgiva, även där höga boniteter förekomma, en väsentlig ytaavrinning. Dessutom kommer hållmarkerna och även tjälningen alltid att befördra en viss sådan.

O. TAMM har i ett kompendium vid Skogshögskolan (Marklära I, S. H. S:s Kompendiekommitté 1954) angivit jordarternas vattenegenskaper och dess betydelse för skogen och därvid ur hydrologisk synpunkt urskilt fyra olika fall för grundvattenytans läge. Jag anser att det ur praktiskt skoglig synpunkt är värdefullt att till sist i anslutning till TAMMS inledning framlägga kompletterande synpunkter härpå, baserade på resultaten från mina undersökningar.

»Fall 1: Grundvattnet ligger djupt. Trädens rötter ha ej kännning med det samma, ej ens med från grundvattnet uppstigande, kapillärt vatten. Hög genomsläpplighet hos jordartsmaterialet medför i detta fall att marken blir torr, vilket dock i viss mån kan motverkas av hög sommarnederbörd. Sålunda kan man i områden med förhållandevis riklig nederbörd träffa utmärkta skogar på mäktigt rullstensgrus, om detta har en god mineralogisk sammansättning. Goda vattenkvarhållande egenskaper hos det geologiska materialet i marken ger upphov till gynnsamma fuktighetsförhållanden. Normala moräner äro merendels goda, sandiga äro svagare, moiga bättre. Morän-lermosaikmarker äro merendels förträffliga.»

Ståndortstypen, som här ovan skildrats, är typisk för sådana lokaler, där skogen ur vattenförsörjningssynpunkt helt är hänvisad till den direkta nederbörden. De översta jordlagrens och humustäckets möjlighet att kvarhålla fuktighet blir av största betydelse för skogsträdens tillväxt. I kap. VI: 3 tab. 43 visades att större delen av en nederbörd på 200 mm (under två dygn) helt absorberades av humustäcket. Är bara humustäcket sålunda tillräckligt mäktigt kan jordarten få vara tämligen grov, såsom grus, sandigt grus osv. och vattenhushållningen i beståndet blir ändå god. Exempel på detta erhöles vi i kap. V: 3, där lysimeterresultaten i grovt rullstensgrus visade att föga nederbörd nådde ner till 0,5 m:s djup under markytan. Det är emellertid betydelsefullt att den mineralogiska sammansättningen är god hos jordarten i fråga, eljest utbildas icke ett tillräckligt mäktigt humustäcke. TAMM anger enligt ovan, att morän-lermosaikmarker äro under nämnda hydrologiska förhållanden alldeles utomordentliga skogsmarker. Därvid må framhållas att det ej är primärt den vattenkvarhållande förmågan hos jordarten i fråga som bestämmer boniteten, (givetvis samverka de bägge faktorerna), utan jag anser att det därjämte är den finare jordartens bättre mineralogiska egenskaper som förmår att bygga upp ett gott humustäcke (som i sin tur sedan förmår att absorbera höga nederbördsmängder).

»Fall 2: Grundvattnet ligger så pass högt, att träden men knappast markvegetationen påverkas av detsamma. Grundvattnet är obetydligt eller ej alls rörligt i sidled. Med att markvegetationen ej är tydligt påverkad menas att den saknar påtagliga fuktväxter såsom vitmossor (*Sphagnum*) och andra, vilka angiva högt grundvattenstånd. Fall 2 är säkert mycket vanligt och är en allmän orsak till skillnader i bonitet och i utbildning av olika skogstyper. Tyvärr är detsamma svårt att fastslå genom direkt undersökning. Även om man genom bormning och grävning skulle fastställa grundvattennivån vid ett tillfälle, är detta ej till fyllest, ty grundvattennivån växlar mycket med årstid och nederbörd. Med all sannolikhet är det grundvattennivåns läge i marken, som orsakar att vissa moränmarker äro bevuxna med vacker gran- eller tallgranskog, medan andra, till synes likvärdiga, i samma trakt kunna lämpa sig bättre för ren tallskog. Ej sällan kan man bilda sig en ungefärlig föreställning om grundvattennivåns läge i moränterränger genom att observera befintliga svackor. Om det i dessa finnes växter, som vittna om mycket högt grundvattenstånd, bör grundvattnet i deras omgivningar ej heller ligga allför lågt.

Ett finkornigt jordartsmaterial är i detta fall fördelaktigt, då det gynnar kapillär uppsugning från grundvattnet, förutom att det är relativt näringsrikt.»

Denna hydrologiska skogstyp är mycket vanlig. Den förekommer oftast inom plana marker där grundvattnet ligger på 1,0—1,5 meters djup. Blir mäktigheten av de lösa jordarterna större får den hänföras till fall 1. När grundvattnet ligger så pass nära markytan, spelar den kapillära vattenförsörjningen mellan grundvattnet och trädens rötter en stor roll. Boniteten synes ofta vara »omotiverat» hög, och vid fuktighetsmätningar inom dylika ståndorter är fuktighetshalten på 50—60 cm djup 8—12 viktsprocent (av torrvikten), dvs. relativt hög. Även om man således rent laboratoriemässigt kan få ett par meters kapillär stigförmåga i en finkornig morän, behöver detta icke innebära att en dylik 3 à 4 meter mäktig jordart i fältet kan öka trädens vattenförsörjning genom kapillär transport av grundvatten till de ytliga markskikten. Jfr kap. VI: 2.

I kap IV: 4: a diskuterades lokaler där grundvattnet låg 1,0—1,5 m djupt, och det framgick därvid att grundvattnets ledningsförmåga var tämligen konstant året runt, även om grundvattennivån växlade. Marker som kunna hänföras till denna kategori äro sådana, där bestånden genom sin vattenförbrukning förmår att sänka grundvattenytan. Bästa identifieringssättet för denna ståndort är den relativt höga fuktighetshalten i markprofilen (se ovan), som även förekommer under torrperioder sommartid.

»Fall 3: Grundvattnet ligger så pass högt att träden ha kännning med detsamma. Det är rörligt i sidled, på grund av terrängens lutning. Ett dylikt grundvatten utöver en mycket gynnsam effekt på skogen, som det synes även på trädslag, vilka såsom boken ej anses älska högt grundvatten. Ligger grundvattennivån mycket högt och om samtidigt rörligheten är obetydlig kan naturligtvis försumpningsbetingelser och torvbildning uppstå. Men är rörligheten mycket stark, kan skogen vara synnerligen växtlig trots hög grundvattennivå (ex. s. k. grankälar). Grundvattennivån kan ligga så djupt, att markvegetationen ej synes vara direkt påverkad, men träd med djupgående rotsystem, såsom tallen, gynnas i högsta grad och nå betydande längder jämfört med på normala marker.

Bert. fall 3 är ett grovt, genomsläppligt jordartsmaterial det bästa, ty det gynnar en vattenströmning på bred front. Grovt, stenigt svallgrus kan, om detsamma är genomsläppligt av grundvatten i en sluttning framvisa höga boniteter och vara lämplig växtplats för de mest fordrande trädslag. Grundvattnets alltid förefintliga halt av lösliga salter torde kunna kompensera det grova jordartsmaterialets relativt svaga vittringsförmåga. Marken hålles vidare i ett jämnt fuktighetstillstånd utan att fara för brist på syre föreligger.

Finkorniga, leriga jordarter äro i fall 3 faktiskt sämre, ty de bromsa upp grundvattnets sidorörelse. Lutningsförhållandena ha en mycket stor betydelse. De inverka på skogen dels lokalklimatiskt (expositionen) men också just genom att de förorsaka rörligt grundvatten, även temporära vattenströmmar i marken efter snösmältning och rikliga regn, vilket även kan vara av gagn för skogen. Topografien har alltså en stor skoglig betydelse på många sätt.»

Större delen av kapitel IV är just ägnat sådana här ståndorter som äro ytterst vanliga i vårt kuperade land. Jag vill framhålla (se kap. VI: 4, VIII: 2), att rörligheten i sidled hos grundvattnet är som tidigare nämnts stor och betingas av att avrinningen sker i yt-skikten och får då i huvudsak betraktas som en »ytavrinning». Denna ytavrinning behöver icke allenast ske ovanpå hållar, packade bottenmoräner, på lera el. dyl., utan även en svallad morän blir med tiden i ytan impregnerad av humuskolloider och mineralpartiklar, som snart bilda ett svärgenomträngligt skikt varpå översilningsvattnet rinner. Detta översilningsvatten har i detalj undersökts på sin kemiska sammansättning och därvid har det årliga utbudet av en del näringsämnen beräknats (kap. IV: 3). Näringshalten i översilningsvattnet är vanligen låg, men till följd av den stora omfattning, som ytavrinningen i regel har i sluttningar (kap. VIII: 2) blir näringstillgången god och just inom områden, som tillhöra denna grupp äga vi kanske våra vackraste och mest högproducerande bestånd. Ytavrinningens stora omfattning blir mera uppenbar, då det är klarlagt (kap. VIII: 2) att större delen av dräneringsvattnet från fastmarken till vattendragen sker som en ytavrinning (se vidare kap. VI: 4), antingen i de ytliga skikten av mineraljorden eller utmed hållar o. dyl. Sedan bör man ytterligare framhålla att i sluttningar, där ytavrinningen oftast är regel, förekommer icke sällan en viss ystenighet (kap. II), som dels befördrar snabba infiltrationsförhållanden för nederbörden och dels ger en förhöjd marktemperatur — båda faktorer, som bidraga till de gynnsamma ståndortsförhållandena inom dessa översilningslokaler.

»Fäll 4: Grundvattnet ligger högt och är orörligt eller mycket svagt rörligt i sidled. Markfuktigheten betingas här av grundvattnet och ej av det geologiska materialets beskaffenhet. Det blir syrebrist i vattnet med försumpningsbetingelser som följd. Den skogliga produktionen blir följaktligen nedsatt. Dock kan det i vårt lands södra och mellersta delar finnas högproduktiva klibbal- och askbestånd på plan, lerig mark med högt grundvatten, som omöjligen kan vara rörligt i sidled, och med en fuktighetsälskande markvegetation (Älggräs, vissa ormbunkar m. fl.), som är ett tecken till högt grundvatten. Här hållas försumpningstendenserna tydligen i schack av den rika vegetationens kraftiga transpiration; en kalhuggning kan på dylika marker stundom leda till säsongnäsiga översvämningar. Jordartsmaterialets finkornighet och genomsläpplighet har i detta fall mindre betydelse, däremot spelar dess mineralogiska egenskaper och kalkhalt, överhuvud taget dess näringsavgivande förmåga en stor roll.»

Ståndorter av denna typ ligga vanligen i svackor och bilda där sumpmarker. Vid även helt små regn höjes grundvattennivån tämligen kraftigt och momentant. Denna höjning motsvaras i allmänhet icke av den fallna nederbördsmängden inom området ifråga utan förorsakas av yttillrinning från omgivande sluttningar (kap. VI: 5). Dessa sluttningar kunna vara helt obetydliga och kanske ofta utgöras blott av ett par kalspolade hållar el. dyl. som tjäna som infiltrationsområden. Sumpmarkens grundvatten har vanligen hög katjonhalt, men tidvis erhålla vid hög nederbörd — till följd av det då bildade, stora ytvattentillskottet — låga jonhalter (kap. IV: 3, fig. 13). Utdikas dylika marker kan det förekomma att områden, som ligga nedanför sumpmarken ifråga erhålla starkt försämrade grundvattenförhållanden. Detta beror i så fall på att den dränerade sumpmarken ej längre kommer att stå i hydrostatisk förbindelse med nedanför liggande sluttning. Upphör denna förbindelse så minskas eller upphör översilningsvattnet.

Tabell 50. *Mekaniska jordartsanalyser.*

Die mechanischen Bodenanalysen werden durch Kombination von Siebung, Abschlammung und Pipetteanalyse nach O. TAMM 1934 (Dispersion nach Methode 1 oder 2 a s. 297) ausgeführt.

Analys nr	Jordart Bodenart	Sid.	20—6	6—2	2—0,6	0,6—0,2	0,2—0,06	0,06—0,02	0,02—0,006	0,006—0,002	< 0,002 mm
			%	%	%	%	%	%	%	%	%
3	Lerig-stenig morän	86	8	12	14	13	12	13	10	6	12
5	Sandig-moig morän	62	10	12	15	16	19	17	7	2	2
6	Sandigt grus	114	19	18	14	15	11	12	6	4	1
9	Sandig-moig morän	109	4	4	13	28	22	12	10	5	2
10	Sandig grov mo	129	—	—	1	19	48	21	7	3	1
11	Sandig-moig morän	71	14	12	14	20	27	10	2	1	—
12	Sandig-moig morän	59	8	10	17	20	21	19	4	1	—
14	Lerig-sandig morän	90	5	8	20	17	13	11	9	4	13
16	Sandigt grus	140	29	31	20	11	7	2	—	—	—
17	Grusig grovsand	140	13	19	45	15	6	1	1	—	—
18	Mellansand	140	1	2	12	66	11	4	3	1	—
22	Sandig-moig morän	63	11	10	17	18	21	15	4	2	2
26	Sandig-moig morän	65	11	10	12	17	23	19	6	1	1
37	Sandig grovmo	126	—	—	2	22	45	20	8	2	1
43	Sandig morän	94	10	16	22	28	15	6	2	1	—
42	Sandig grovmo	120	—	—	1	23	49	18	6	3	—
46	Sandig-grusig morän	130	20	19	21	17	14	6	2	1	—
47	Sandig-moig morän	130	5	7	14	19	24	19	7	4	1
48	Lätt mellanlera	130	—	—	3	19	33	18	7	2	18
53	Sandig morän	162	15	14	23	21	14	8	4	1	—
55	Sandig grovmo	124	—	—	6	24	48	12	5	5	—
57	Sandig-moig morän	162	10	11	19	24	26	9	1	—	—
60	Sandig morän	163	9	19	23	32	11	3	2	1	—

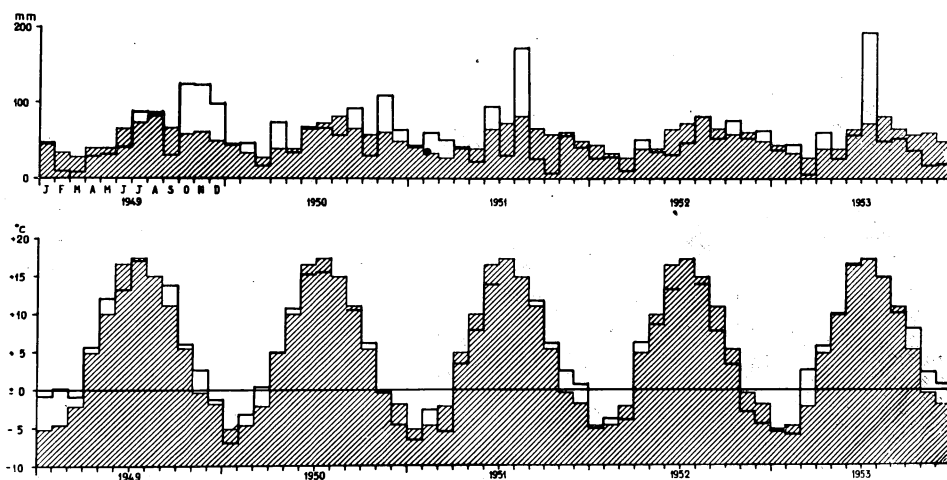


Fig. 30. Bjurfors.

- a. Bjurfors, Västmanlands län. Lat. $60^{\circ} 08' N$; long. $16^{\circ} 07' O$ Gr.; höjd ö. h. 125 m. Månadsnederbörden i mm åren 1949—1953 jämförd med medelnederbörden under perioden 1928—1953. Tjockdragna linjen anger aktuell nederbörd; skuggade staplar visa medelnederbörden.
- b. Då temperaturopbservationer saknas för Bjurfors, har Folkärna måste utnyttjas. Folkärna, Kopparbergs län. Lat. $60^{\circ} 10' N$; long. $16^{\circ} 19' O$ Gr.; höjd ö. h. 75 m. Månadsmedeltemperaturen åren 1949—1953 jämförd med månadsmedia av temperaturen under perioden 1944—1953. Tjockdragna linjen anger aktuell månadsmedeltemperatur; skuggade staplar visa månadsmedia. Ofullständiga meteorologiska temperaturopbservationer ha gjort, att värden saknas för vissa månader. Bakom medelvärdena för juli och augusti ligger en ofullständig 10-årsperiod.

Bjurfors.

- a. Bjurfors, Västmanlands Regierungsbezirk. Lat. $60^{\circ} 08' N$; Long. $16^{\circ} 07' O$ Gr.; Höhe ü. M. 125 m.
Die monatliche Niederschlagsmenge in mm für die Jahre 1949—1953 mit der mittleren Niederschlagsmenge während der Periode 1928—1953 verglichen. Die dickgezogene Linie gibt den aktuellen Niederschlag an; die schraffierten Stapel zeigen den mittleren Niederschlag.
- b. Da es für Bjurfors keine Temperaturopbservationen gibt, sind die Werte von Folkärna angewandt worden.
Folkärna, Kopparbergs Regierungsbezirk. Lat. $60^{\circ} 10'$; Long. $16^{\circ} 19' O$ Gr.; Höhe ü. M. 75 m.
Die mittlere Monatstemperatur für die Jahre 1949—1953 mit den entsprechenden Werten während der Periode 1944—1953 verglichen. Die dickgezogene Linie gibt die aktuelle Monatsmitteltemperatur an; die schraffierten Stapel zeigen die Monatsmittelwerte.
Da die meteorologischen Temperaturopbservationen lückenhaft sind, fehlen die Werte für einige Monate. So sind die Mittelwerte für den Juli und für den August auf einer unvollständigen 10-Jahresperiode basiert.

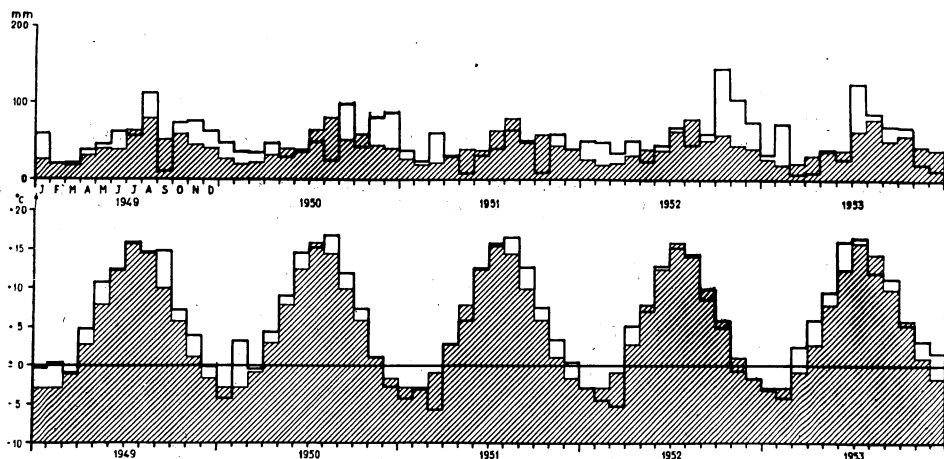


Fig. 31. Grenholmen. (Lat. $59^{\circ} 52' N$; long. $18^{\circ} 55' O$).

Närmaste meteorologiska station: Väddö.

a. Väddö, Roslagen; Lat. $59^{\circ} 58' N$; long. $18^{\circ} 49' O$ Gr.; höjd ö. h. 10 m.

Månadsnederbörden i mm åren 1949—1953 jämförd med medelnederbörden under perioden 1915—1942. Tjockdragna linjen anger aktuell nederbörd; skuggade staplar visa medelnederbörden.

b. Väddö.

Månadsmedeltemperaturen åren 1949—1953 jämförd med månadsmedia av temperaturen under perioden 1901—1930. Tjockdragna linjen anger aktuell månadsmedeltemperatur; skuggade staplar visa månadsmedia.

Grenholmen. (Lat. $59^{\circ} 52' N$; Long. $18^{\circ} 55' O$ Gr.)

Die nächste meteorologische Station: Väddö.

a. Väddö, Roslagen. Lat. $59^{\circ} 58' N$; Long. $18^{\circ} 49' O$ Gr.; Höhe ü. M. 10 m.

Die monatliche Niederschlagsmenge in mm für die Jahre 1949—1953 mit der mittleren Niederschlagsmenge während der Periode 1915—1942 verglichen. Die dickgezogene Linie gibt den aktuellen Niederschlag an; die schraffierten Stapel zeigen den mittleren Niederschlag.

b. Väddö.

Die mittlere Monatstemperatur für die Jahre 1949—1953 mit den entsprechenden Werten während der Periode 1901—1930 verglichen. Die dickgezogene Linie gibt die aktuelle Monatsmitteltemperatur an; die schraffierten Stapel zeigen die Monatsmittelwerte.

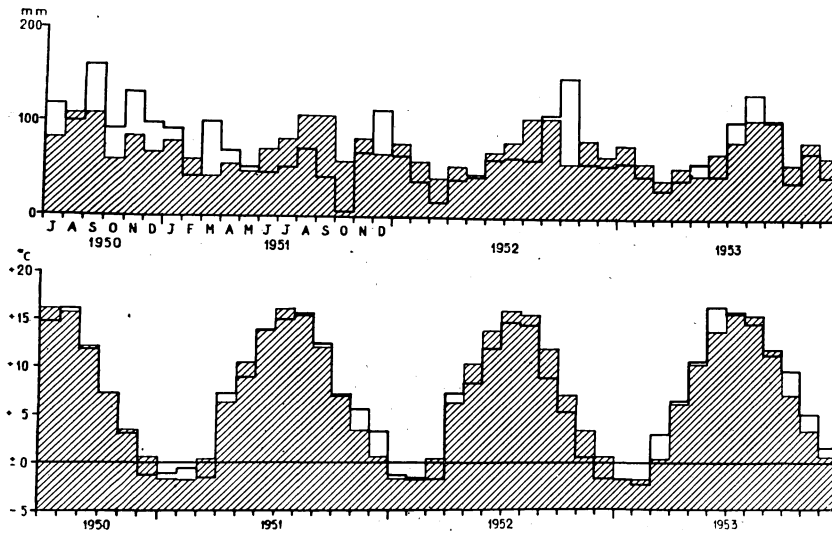


Fig. 32. Hillarp. (Lat. $56^{\circ} 17' N$; long. $13^{\circ} 34' O Gr.$)

Närmaste meteorologiska station: Skånes Fagerhult.

a. Skånes Fagerhult, Kronobergs län. Lat $56^{\circ} 23' N$; long. $13^{\circ} 28' O Gr.$; höjd ö. h. 115 m.

Månadsnederbörden i mm åren 1950—1953 jämförd med medelnederbörden under perioden 1943—1953. Tjockdragna linjen anger aktuell nederbörd; skuggade staplar visa medelnederbörden.

b. Skånes Fagerhult.

Månadsmedeltemperaturen åren 1950—1953 jämförd med månadsmedia av temperaturer under perioden 1944—1953. Tjockdragna linjen anger aktuell månadsmedeltemperatur; skuggade staplar visa månadsmedia.

Hillarp. (Lat. $56^{\circ} 17' N$; Long. $13^{\circ} 34' O Gr.$)

Die nächste meteorologische Station: Skånes Fagerhult.

a. Skånes Fagerhult, Lat. $56^{\circ} 23' N$; Long. $13^{\circ} 28' O Gr.$; Höhe ü. M. 115 m.

Die monatliche Niederschlagsmenge in mm für die Jahre 1950—1953 mit der mittleren Niederschlagsmenge während der Periode 1943—1953 verglichen. Die dickgezogene Linie gibt den aktuellen Niederschlag an; die schraffierten Stapel zeigen den mittleren Niederschlag.

b. Skånes Fagerhult.

Die mittlere Monatstemperatur für die Jahre 1950—1953 mit den entsprechenden Werten während der Periode 1944—1953 verglichen. Die dickgezogene Linie gibt die aktuelle Monatsmitteltemperatur an; die schraffierten Stapel zeigen die Monatsmittelwerte.

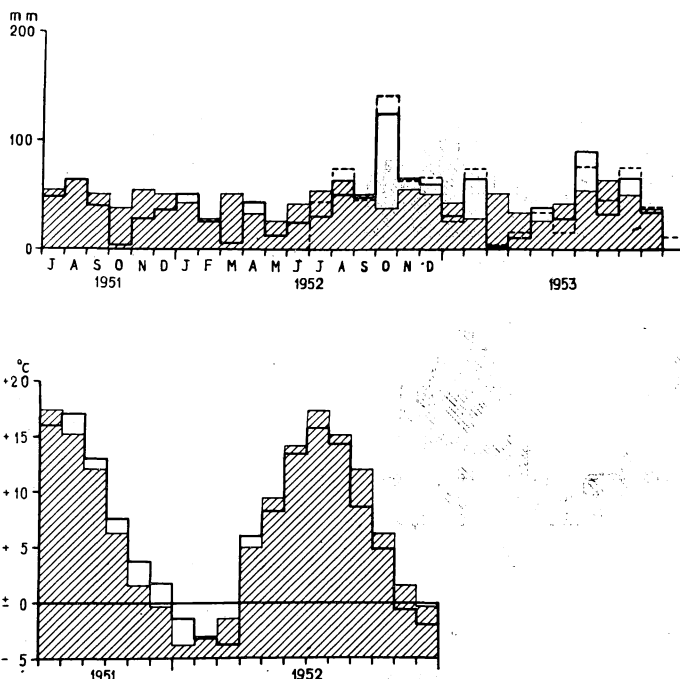


Fig. 33. Röskär. (Lat. $59^{\circ} 25' N$; long. $18^{\circ} 10' O Gr.$)

Närmaste meteorologiska station: Hägernäs.

a. Hägernäs, Stockholms län. Lat. $59^{\circ} 26' N$; long. $18^{\circ} 08' O Gr.$; höjd ö. h. 16 m.

Månadsnederbörden i mm tiden juli 1951—1953 jämförd med medelnederbörden under perioden 1944—1953 (värden saknas för nov. och dec. 1953). Tjockdragna linjen anger aktuell nederbörd; skuggade staplar visa medelnederbörden. Streckade linjen markerar aktuell nederbörd för Röskär.

b. Hägernäs.

Månadsmedeltemperaturen tiden juli 1951—1952 jämförd med månadsmedia av temperaturen under perioden 1944—1952. Tjockdragna linjen anger aktuell månadsmedeltemperatur; skuggade staplar visa månadsmedia.

Röskär. (Lat. $59^{\circ} 25' N$; Long. $18^{\circ} 10' O Gr.$)

Die nächste meteorologische Station: Hägernäs.

a. Hägernäs, Stockholms Regierungsbezirk. Lat. $59^{\circ} 26' N$; Long. $18^{\circ} 08' O Gr.$; Höhe ü. M. 16 m.

Die monatliche Niederschlagsmenge in mm für die Zeit Juli 1951—1953 mit der mittleren Niederschlagsmenge während der Periode 1944—1953 verglichen (die Werte für November und Dezember 1953 fehlen). Die dickgezogene Linie gibt den aktuellen Niederschlag an; die schraffierten Stapel zeigen den mittleren Niederschlag an. Die gestrichelte Linie markiert den aktuellen Niederschlag für Röskär.

b. Hägernäs.

Die mittlere Monatstemperatur für die Zeit Juli 1951—1952 mit den entsprechenden Werten während der Periode 1944—1952 verglichen. Die dickgezogene Linie gibt die aktuelle Monatsmitteltemperatur an; die schraffierten Stapel zeigen die Monatsmittelwerte.

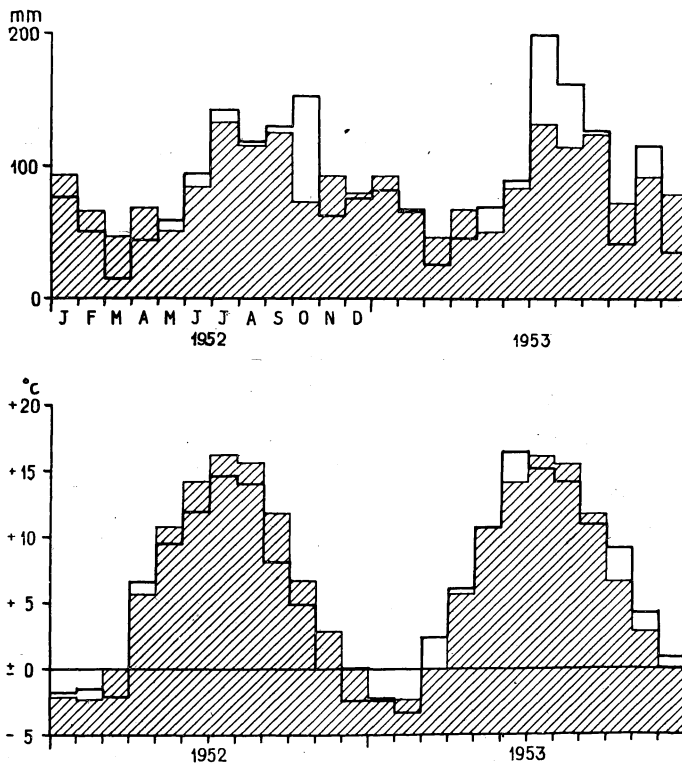


Fig. 34. Jägarhyddan. (Lat. $56^{\circ} 45' N$; long. $13^{\circ} 22' O Gr.$)

Närmaste meteorologiska station: Singshult.

a. Singshult, Kronobergs län. Lat. $56^{\circ} 45' N$; long $13^{\circ} 21' O Gr.$; höjd ö. h. 180 m.

Månadsnederbörden i mm åren 1952—1953 jämförd med medelnederbörden under perioden 1944—1953. Tjockdragna linjen anger aktuell nederbörd; skuggade staplar visa medelnederbörden.

b. Singshult.

Månadsmedeltemperaturen åren 1952—1953 jämförd med månadsmedia av temperaturen under perioden 1944—1953. Tjockdragna linjen anger aktuell månadsmedeltemperatur; skuggade staplar visa månadsmedia.

Jägarhyddan (Lat. $56^{\circ} 45' N$; Long. $13^{\circ} 22' O Gr.$)

Die nächste meteorologische Station: Singshult.

a. Singshult, Kronobergs Regierungsbezirk. Lat. $56^{\circ} 45' N$; Long. $13^{\circ} 21' O Gr.$; Höhe ü. M. 180 m.

Die monatliche Niederschlagsmenge in mm für die Jahre 1952—1953 mit der mittleren Niederschlagsmenge während der Periode 1944—1953 verglichen. Die dickgezogene Linie gibt den aktuellen Niederschlag an; die schraffierten Stapel zeigen den mittleren Niederschlag.

b. Singshult.

Die mittlere Monatstemperatur für die Jahre 1952—1953 mit den entsprechenden Werten während der Periode 1944—1953 verglichen. Die dickgezogene Linie gibt die aktuelle Monatsmitteltemperatur an; die schraffierten Stapel zeigen die Monatsmittelwerte.

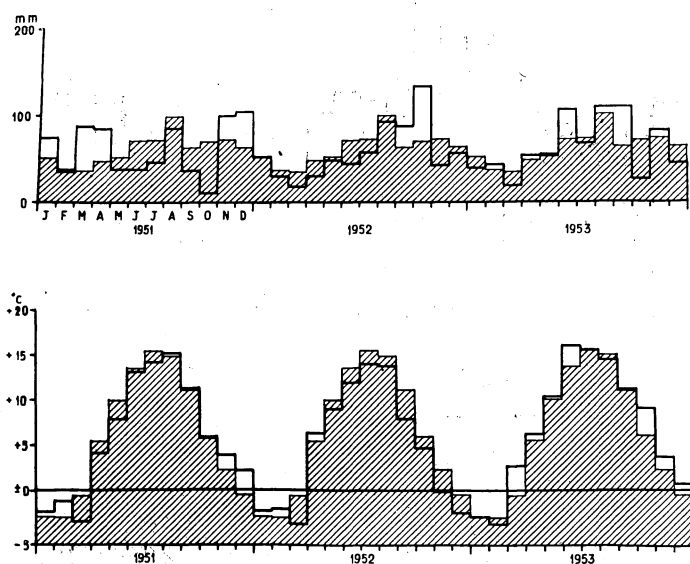


Fig. 35. Mölna. (Lat. $57^{\circ} 34' N$; long. $14^{\circ} 12' O Gr.$)

Då Mölna saknar meteorologisk station, har Skillingaryd (nederbörd) och Hagshult (temperatur) måst användas.

a. Skillingaryd, Jönköpings län. Lat. $57^{\circ} 26' N$; long. $14^{\circ} 7' O Gr.$; höjd ö. h. 180 m.

Månadsnederbörden i mm åren 1951—1953 jämförd med medelnederbörden under perioden 1901—1930. Tjockdragna linjen anger aktuell nederbörd; skuggade staplar visa medelnederbörden.

b. Hagshult, Jönköpings län. Lat. $57^{\circ} 18' N$; long. $14^{\circ} 8' O Gr.$; höjd ö. h. 168 m.

Månadsmedeltemperaturen åren 1951—1953 jämförd med månadsmedia av temperaturen under perioden 1944—1953. Tjockdragna linjen anger aktuell månadsmedeltemperatur; skuggade staplar visa månadsmedia.

Mölna. (Lat. $57^{\circ} 34' N$; Long. $14^{\circ} 12' O Gr.$)

Da Mölna keine eigene meteorologische Station besitzt, hat man die Niederschlagswerte von Skillingaryd und die Temperaturwerte von Hagshult anwenden müssen.

a. Skillingaryd, Jönköpings Regierungsbezirk. Lat. $57^{\circ} 26' N$; Long. $14^{\circ} 7' O Gr.$; Höhe ü. M. 180 m.

Die monatliche Niederschlagsmenge in mm für die Jahre 1951—1953 mit der mittleren Niederschlagsmenge während der Periode 1901—1930 verglichen. Die dickgezogene Linie gibt den aktuellen Niederschlag an; die schraffierte Stapel zeigen den mittleren Niederschlag.

b. Hagshult, Jönköpings Regierungsbezirk. Lat. $57^{\circ} 18' N$; Long. $14^{\circ} 8' O Gr.$; Höhe ü. M. 168 m.

Die mittlere Monatstemperatur für die Jahre 1951—1953 mit den entsprechenden Werten während der Periode 1944—1953 verglichen. Die dickgezogene Linie gibt die aktuelle Monatsmitteltemperatur an; die schraffierte Stapel zeigen die Monatsmittelwerte.

Litteraturförteckning

- AALTONEN, V. T., 1939: Zur Stratigraphie des Podsolprofils, besonders vom Standpunkt der Bodenfruchtbarkeit. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 27.
- »— 1940: Über die Bodenbildung in Finland. *Bodenkunde u. Pflanzenernährung*, 21—22: 142—154.
- »— 1941: Zur Stratigraphie des Podsolprofils III. *Ibid.* 29. 5.
- AARNIO, B., 1915: Über die Ausfällung des Eisenoxydes und der Tonerde in finländischen Sand- und Grusböden. *Geotekn. Komm. Finland, geotekniska medd.* 16.
- ANDERSSON, S., 1952: Kompendium i agronomisk hydroteknik. I. Elementär hydromekanik. *Inst. för agronomisk hydroteknik, Uppsala.*
- »— 1953: Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. III. Om markens permeabilitet. *Grundförbättring nr 2*, 1953.
- ANTIPOV-KARATAJEV, I. N., 1930: Über die Anwendung der Filtrationsanalyse bei der Untersuchung der für die Bodendispersität massgebenden Faktoren. *Kolloidchem. Bei Hefte* 31.
- ARRHENIUS, O., 1952: The chemical denudation of the soil. *Tellus, A quarterly journal of geophysics*. Vol. 4, nr 4.
- »— 1954: Den kemiska denudationen i Sverige. *Tidskr. Socker. I*, Bd 8, H. 11, Malmö.
- AUTEN, J. T., 1933: Porosity and water absorption of forest soils. *Jour. Agr. Res.* 46: 997—1014.
- »— 1934: The effect of forest burning and pasturing in the Ozarks on the water absorption of forest soils. *U. S. Forest Expt. Sta. Central States. Sta. Note* 16.
- BAIRD, R. W., 1939: Watershed and hydrologic studies on the Blacklands experimental watershed. *Agr. Engin.* 20: 273—276.
- BARTELS, J., 1933: Verdunstung, Bodenfeuchtigkeit und Sickerwässer unter natürlichen Verhältnissen. *Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen* 65. S. 204—219.
- BAVER, L. D., 1936: Soil characteristics influencing the movement and balance of soil moisture. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 1: 431—437.
- »— 1938: Soil permeability in relation to non-capillary porosity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 3: 52—56.
- BENNET, H. H., 1939: *Soil Conservation*. S. 198.
- BIELER, K., 1896: Die rothamsteder Versuche nach dem Stande des Jahres 1894. I. Beobachtungen über Regenfall und Drainage. *Landw. Jahrb.* 25: 199—211.
- BJÖRKMAN, E., 1954: Om gödsling av skogsmark. *Växtnäringsnytt*, 2.
- BLANEY, H. F., TAYLOR, C. A., and YOUNG, A. A., 1930: Rainfall penetration and consumptive use of water in Santa Anna river valley and coastal plain. *Calif. Dept. Pub. Works Div. Water Res. Bul.* 33.
- BODMAN, G. B., 1936: Factors affecting downward movement of water in soils. *Amer. Soil Survey Assoc. Bul.* 17: 33—38.
- BODMAN, G. B. & HARRADINE, E. F., 1938: Mean effective pore size and clay migration during water percolation in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 3: 44—51.
- BRATER, E. F., 1939: The unit hydrograph principle applied to small watersheds. *Amer. Soc. Civ. Engin. Proc.* 65: 1191—1215.
- BROWNING, G. M., 1937: Changes on the erodibility of soils brought about by the application of organic matter. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 2: 85—96.
- BURD, J. S. & MARTIN, J. C., 1924: Secular and seasonal changes in the soil solution. *Soil Sci.* 18: 151—167.
- BURGER, H., 1922: Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. *Mitteil. d. Schweiz. Centralanst. f. d. forstl. Versuchswesen*, Bd XIII. Zürich.
- »— 1924: Die physikalische Bodenuntersuchung, ins besondere die Methoden zur Bestimmung der Luftkapazität. *Conf. Internatl. de Pedol. Actes* 4, v 2: 150—163.

- >— 1931: Waldklimafragen. I: Meteorologische Beobachtungen im Freien und in einem Buchenbestand. Mitteil. d. Schweizer. Centralanst. f. d. forstl. Versuchswesen. Bd. XVII.
- >— 1934: Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. Mitteil. d. Schweizer Centralanst. f. d. forstl. Versuchswesen. Bd. XVIII.
- BURGESS, P. S., 1922: The soil solution, extracted by Lipman's directpressure method, compared with 1:5 water extracts. Soil Sci., 14: 191—215.
- BÜHLER, A., 1891—1895: Untersuchungen über Sickerwassermengen. Schweiz. Centralanst. f. d. forstl. Versuchsw. Mitt. 1: 291—332, 1891. 4: 203—248, 1895.
- COSTER, Ch., 1937: De verdamping van verschillende vegetatievormen op Java. Tectona (Buitenzorg), 30: 1—102.
- CRAIB, I. J., 1929: Some aspects of soil moisture in the forest. Yale Forest School Bul. 25.
- DAVIDSSON, J. M., 1940: Infiltration of water into the soil. U. S. Dept. Agr., Soil Conservation Service, Bibliography 3.
- DULEY, F. L., and KELLY, L. L., 1939: Effects of soil type, slope and surface conditions on intake of water. Nebr. Agr. Expt. Sta. Res. Bul. 112.
- EBERMAYER, E., 1873: Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden und seine klimatologische und hygienische Bedeutung. Vol. 1, pt. 2, Resultate der Beobachtungen.
- >— 1879: Wie kann man den Einfluss der Wälder auf den Quellenreichthum ermitteln? Forstwiss. Centbl. 23: 77—81.
- >— 1889: Einfluss des Waldes und der Bestandesdichte auf die Bodenfeuchtigkeit und auf die Sickerwassermenge. Allg. Forst. u. Jagd.-Ztg. 65: 1—13.
- >— 1897: Untersuchungsergebnisse über die Menge und Verteilung der Niederschläge in den Wäldern. Forstl. Naturw. Ztschr. 6: 283—301.
- >— 1900: Einfluss der Wälder auf die Bodenfeuchtigkeit, auf das Sickerwasser, auf das Grundwasser und auf die Engiebigkeit der Quellen begründet durch exakte Untersuchungen. 55 S. Stuttgart.
- EBLER, E. & FELLNER, M., 1911: Z. anorg. Chemie 72. 265.
- EDEN, T., 1933: Soil erosion. Imp. Bur. Soil Sci. Tech. Commun. 28.
- EHRENBERG, P., 1918: Die Bodenkolloide. Dresden u. Leipzig 1918.
- EKSTRÖM, G., 1938: Preliminärt nordiskt förslag till Jordvattnets terminologi. Nordiskt jordbruksforskning. Häfte 4—7.
- ENGLER, A., 1919: Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. Mitteil. d. Schweizer. Centralanst. f. d. forstl. Versuchswesen. Bd. XII: 1—626.
- ERIKSSON, J. V. 1929: Den kemiska denudationen i Sverige. Medd. fr. Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt Bd 5.
- FEILITZEN, H. von, 1900: Försöksverksamheten vid Rothamsted i England. Iakttagelser öfver nederbörd och dränering. Svenska Mosskulturför. Tidskrift 14.
- >— 1912: Några undersökningar öfver de mängder växtnäringsämnen som med nederbörden uttvättas och gå förlorade från öbevuxen och med olika kulturväxter bevuxen torvfjord. Resultat av 5-åriga lysimeterförsök i vegetationsgården i Jönköping. Svenska Mosskulturför. Tidskrift 26: 111—154.
- FRIEDRICH, W., 1950: Über die Verdunstung vom Erdboden. Zusammenfassenden Bericht über die Eberswalder Lysimetermessungen. Fachblatt für das Gesamtgebiet der gastechnik Gaswirtschaft und des Wasserversorgungswesens. (G. W. F.) H 24, ärg. 91. Ausgabe Wasser 31.
- GEMMERLING, V. V., 1922: The moisture regime in podzols from data of lysimeter investigations. (Russian). Trudui Moscov. Oblastn. Selsk. Khoz. Opuitn. Sta. Bul. 1: 88—95.
- GERLACH, 1926: Untersuchungen über die Menge und Zusammensetzung der Sickerwässer. Kaiser-Wilhelm-Inst. f. Landw. Mitt. 2: 319—387.
- GILBERT, J. H., 1890: On rainfall, eveporation and percolation. Rothemsted Expt. Sta., Harpender, Mem. Agr. Chem. Physiol. (1876) 5, 13 s.
- >— 1899: Observations on rainfall, percolation and evaporation; with results obtained at Rothamsted, over 20 harvest years, 1870—71 to 1889—90, inclusive. Rothamsted Expt. Sta., Harpenden, Mem. Agr. Chem. Physiol. 7 Sup.: 1—20.
- GREBE, 1885: Die Kiefer auf dem Höhen-Sandboden der Tuchler Haide. Zeitschrift f. Forst- und Jagdwesen 17.
- GUSTAFSON, A. F., 1937: Conservation of the soil. New York and London. S. 66—72.
- HALDEN, B., 1926: Exempel på markförbättring, framkallad av genomsippande myrvatten. Skogen, Stockholm.

- »— 1926: Studier över skogsbeståndens inverkan på markfuktighetens fördelning hos skilda jordarter. Sv. skogsvårdsföreningens tidskr. Stockholm.
- »— 1932: Marktorkan å sand- och grusmarker. Die Bodentrockenheit auf Sand- und Kiesböden mit besonderer Rücksicht auf Regenwinde, Bodenbeschaffenheit und mechanische Zusammensetzung des Bodens. Sv. skogsvårdsföreningens tidskrift, Stockholm.
- HALL, A. D., 1905, 1919: The book of the Rothamsted Experiments. Ed. (1), London 1905; ed. 2 revised by E. J. Russel, 1919.
- HARDING, S. T., 1937: Direct accretions to ground-water from rainfall. Amer. Geophys. Union Trans. (1937) 18, pt. 2: 368—371.
- HARRIS, F. H. and JONES, J. W., 1917: Soil moisture studies under dryfarming. Utah Agr. Expt. Sta. Bul. 158.
- HARVEY, E. W., 1939: Nitrates and the weather. Amer. Fert. 90 (2): 5—7, 24, 26.
- HAZEN, A., 1893: Some physical properties of sands and gravels, with special reference to their use in filtration. Mass. State Bd. Health Ann. Rpt. (1891/92) 24: 541—556.
- HENDRICKSON, B. H., 1934: The choking of pore-space in the soil and its relation to run-off and erosion. Amer. Geophys. Union Trans. (1934) 15, pt. 2: 500—505.
- HESSSELMAN, H., 1909: Försumpningsfrågan i Berättelse öfver den botaniska afdelningens verksamhet år 1906—1908 etc. (Mit deutscher Zusammenfassung.) Medd. fr. Statens Skogsförs.anst. 6, s. 32—43. Stockholm.
- »— 1910: Om vattnets syrehalt och dess inverkan på skogsmarkens försumpning och skogens växtlighet. (Resumé: Über den Sauerstoffgehalt des Bodenwassers und dessen Einwirkung auf die Versumpfung des Bodens und das Wachstum des Waldes.) Medd. fr. Statens Skogsförs.anst. 7, s. 91—125 + XIII—XVI. Stockholm.
- »— 1928: Versumpfung, Rohhumus und Waldbau in Nordschweden. Forstwissenschaftliches Centralblatt 50, s. 509—526. Berlin.
- HIBBARD, P. L., 1923: Comparison of the soil solution by displacement method and the water extract of alkali soils. Soil Sci., 16, 465—471.
- HILLEBRAND, W. F. & LUNDELL, G. E. F., 1929: Applied inorganic analysis. New York.
- HIRE, P. DE LA, 1703: Mémoires de mathématique et de physique, tirés des registres de l'academie royale des science, de l'année MDCCIII. Remarques sur l'eau de la pluie, sur l'origine des fontaines; avec quelques particularités sur la construction des citernes. Hist. de l'Acad. Roy. des Sci. Ann. 1703 (2): 56—59.
- HOFMAN-BANG, O., 1904: Studien über schwedische Fluss- und Quellwässer. Uppsala.
- HORTON, R. E., 1924: Discharge from catchment-areas in India, as affecting the waterways of bridges. Inst. Civ. Engin. Proc. (1923—24) 217, pt. 1: 387—395.
- »— 1933: The role of infiltration in the hydrologic cycle. Amer. Geophys. Union Trans. (1933) 14: 446—460.
- »— 1935: Surface run-off phenomena. Horton Hydrological Lab. Pub. 101.
- »— 1937: Hydrologic aspects of the problem of stabilizing stream flow. Jour. Forestry 35 (11): 1015—1027.
- »— 1939: Analysis of run-off-plat experiments with varying infiltration-capacity. Amer. Geophys. Union Trans. (1939) 20, pt. 4: 693—711.
- HUGUES, C., 1919: Recherche di tecnica colturale sulla filtrazione dell'acqua nei terreni agrari. Gior. de Risc. 9 (5): 74—78.
- HÖGBOM, A. G., 1906: Norrland. Uppsala.
- ISRAELSEN, O. W., 1918: Studies on capacities of soils for irrigation water and on a new method of determining volumo weight. Jour. Agr. Res. 13 (1): 1—35.
- JACOT, A. P., 1936: Soil populations. Sci. Monthly 42 (3): 247—251.
- JANDER, G. & HARMS, J., 1935: Gefäss und Bürette für Mikrobestimmungen. Angew. Chem. 48 s. 271.
- JANDER, G. & PFUNDT, O., 1945: Die konduktometrische Massanalyse und andere Anwendungen der Leitfähigkeitsmessung auf chemische Probleme. Stuttgart.
- JENNY, H. & OVERSTREET, R., 1939: Cation interchange between plant roots and soil colloids. Soil Sci., 47: 257—272.
- JOFFE, J. S., 1929: A new type of lysimeter at the New Jersey agricultural experiment station. Science 70: 147—148.
- »— 1932: Lysimeter studies I. Moisture percolation through the soil profile. Soil Sci. 34: 123—143.
- »— 1933 a: Lysimeter studies II. The movement and translocation of soil constituents in the soil profile. Soil Sci. 35: 239—257.

- >— 1933 b: Lysimeter studies III. The movement and translocation of nitrogen and organic constituent in the profile of a podzolic soil. *Soil Sci.* 35: 401—411.
- JOHANSSON, S., 1944: Om jord och vatten på Lanna försöksgård. S. G. U. Ser. C, Nr 461.
- JONES, L. H., SHEPARDSSON, W. B., and PETERS, C. A., 1949: *Plant Physiol.* 24, 300—6.
- KALELA, E., 1949: On the horizontal roots in pine and spruce. *Stand I. Männiköiden Ja Kuusikoiden Juurisuiteista. Acta Forestalia Fennica* 57: 2. Helsingfors.
- KARLSSON, N., 1952: Kalium i marken. *Kungl. Lantbruksakademiens tidskrift. Årg.* 91.
- KARRAKER, P. E., 1920: The effect of the initial moisture in a soil on moisture movement. *Soil Sci.* 10 (2): 143—152.
- KEEN, B. A., 1931: *The physical properties of the soil.* London.
- KING, F. H., 1898: Principles and conditions of movements of ground water. U. S. Geol. Survey Ann. Rpt. 19, pt. 2: 59—294.
- KIRK, P. L., 1950: Kjeldahl method for total nitrogen. *Analytical Chemistry.* Vol. 22 nr 2.
- KITTREDGE, J., JR., 1938: Comparative infiltration in forest and open. *Jour. Forestry* 36 (11): 1156—1157.
- KOHNKE, H., 1938: A method for studying infiltration. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 3: 296—303.
- KOHNKE, H., DREIBELBIS, F. R., and DAVIDSON, J. M., 1940: A survey and discussion of lysimeters and a bibliography on their construction and performance. U. S. Dept. Agr., Misc. Pub. 372.
- KOSHAL, R. S., 1934: The effects of rainfall and temperature on percolation through drain gauges. *Jour. Agr. Sci. (England)* 24 (1): 105—135.
- KRAMER, P. J., 1949: *Plant and soil water relationships.* New-York—Toronto—London.
- KRAWKOW, S., 1900: Über die Prozesse der Bewegung des Wassers unter der Salzlosungen im Boden. *Jour. f. Landw.* 483: 209—222.
- LEWIS, M. R., 1937: The rate of infiltration of water in irrigation practice. *Amer. Geophys. Union Trans.* (1937) 18, pt. 2: 361—368.
- LEWIS, M. R., & POWERS, W. L., 1939: A study of factors affecting infiltration. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1938) 3: 334—339.
- LOHAMMAR, G., 1938: *Wasserchemie und höhere Vegetation schwedischer Seen. Symbolae botanicae upsalienses III:1.* Uppsala.
- LOWDERMILK, W. C., 1929: Further studies of factors affecting surficial runoff and erosion. *Intern. Cong. Forestry Proc.*
- >— 1930: Influence of forest litter on run-off, percolation and erosion. *Jour. Forestry* 28 (4): 474—491.
- >— 1931: Studies of the role of forest vegetation in surficial run-off and soil erosion. *Agr. Engin.* 12 (4): 107—112.
- >— 1937: Water-intake of saturated soils. *Amer. Geophys. Union Trans.* (1937) 18, pt. 2: 355—361.
- LUNDBERG, G., 1952: Skogsdikningarna på Bjurfors kronopark. En sammanfattning av resultat och erfarenheter. (Entwässerungsarbeiten im Forstamt Bjurfors, Zusammenfassung). Sundsvall.
- LUNDEGREN, A., 1934: *Kristianstadsområdets kritbildningar. Geol. fören. förhandl.* Bd 56.
- LUNT, H. A., 1935: Forest lysimeter studies under pine. *Am. Soil Survey Assn. Bul.* 16.
- >— 1937: Forest lysimeter studies under red pine. *Connecticut Agricultural Experiment Station Bul.* 394.
- LUTZ, J. F., 1934: The structure of soils as affecting soil erosion. *Amer. Soil Survey Assoc. Bul.* 15: 98—100.
- >— 1935: The relation of soil erosion to certain inherent soil properties. *Soil Sci.* 40 (6): 439—457.
- LUTZ, H. J., & CHANDLER, R. F., 1946: *Forest soils.* New York.
- LÅG, J., 1948: *Klimaets humiditet og jordmonnutviklingen. Skogen og klimaet.*
- LÅG, J. & EINEVOLL, O., 1954: Preliminary Studies on the Water Permeability of Raw Humus in Podzol Profiles in the Western Part of Norway. *Meldinger fra Norges Landbruks-høgskole.*
- MALMSTRÖM, C., 1923: Degerö Stormyr En botanisk, hydrologisk och utvecklingshistorisk undersökning över ett nordsvenskt myrkomplex. *Medd. fr. Stat. Skogsförs.anst.* 20: 1.
- >— 1926: The experimental forests of Kulbäcksliden and Svartberget in north Sweden. 2. *Vegetation. Skogsförsöksanstaltens exkursionsledare XI.* Stockholm.
- >— 1931: Om faran för skogsmarkens försumpning i Norrland. *Medd. fr. Stat. Skogsförs. anst.* 26, Stockholm.

- MATTSON, S. & GUSTAFSSON, Y., 1934: The chemical characteristics of soil profiles: I. The podzol. *Annals of the Agr. College of Sweden*, 1: 33—68.
- »— 1937: The laws of soil colloidal behavior: XIX. The gel and the sol complex in soil formation. *Soil Sci.*, 43: 453—471.
- MATTSON, S. & KOUTLER-ANDERSSON, E., 1942: The electro-chemistry of soil formation: V. A lysimeter study of podzolic solvation and precipitation. *Annals of the Agr. College of Sweden*, 10: 241—257.
- MASCHHAUPT, 1938: Lysimeteronderzoekingen aan het Rijkslandbouwproefstation te Groningen en elders. I. Regenval, Drainage en verdamping. *Versl. van landbouwk. Onderz.* Nr. 44 (1) A.
- MAWLEY, E., 1892: The percolation of rain through comparatively light and through comparatively heavy soil. *Hertfordshire Nat. Hist. Soc. Trans.* (1891) 6: 175—178.
- MEGINNIS, H. G., 1935: Influence of forest litter on surface run-off and soil erosion. *Amer. Soil Survey Assoc. Bul.* 16: 115—118.
- MITCHELSON, A. T., 1934: Underground storage by spreading water (abstract). *Amer. Geophys. Union Trans.* (1934) 15, pt. 2: 522—523.
- MITCHELSON, A. T. & MUCKEL, D. C., 1937: Spreading water for storage underground. *U. S. Dept. Agr. Tech. Bul.* 578.
- MOHR, E. C. J. & VAN BAREN, F. A., 1954: Tropical soils. A critical study of soil genesis as related to climate, rock and vegetation. Hague—London—New York.
- MOSEER, F., 1939: The influence of cropping practices on some physical and chemical properties of soil. *Soil Sci.* 48 (5): 421—431.
- MUCKEL, D. C., 1936: Some factors affecting the rate of percolation on water-spreading areas. *Amer. Geophys. Union Trans.* 17, pt. 2: 471—474.
- MULDER, E. G., 1950: Mineral nutrition of plants. *Annual Review of Plant Physiology. USA.*
- MUNNS, E. N., PRESTON, J. F. & SIMS, I. H., 1938: Forests for erosion control. *U. S. Dept. Agr. Yearbook 1938 (Soils and Men)*: 609—614.
- MUSGRAVE, G. W., 1935 a: A device for measuring precipitation waters lost from the soil as surface run-off, percolation, evaporation and transpiration. *Soil Sci.* 40 (5): 391—401.
- »— 1935 b: The infiltration capacity of soils in relation to the control of surface run-off and erosion. *Amer. Soc. Agron. Jour.* 27 (5): 336—345.
- MUSGRAVE, G. W. & FREE, G. R., 1936: Some factors which modify the rate and total amount of infiltration of field soils. *Amer. Soc. Agron. Jour.* 28 (9): 727—739.
- »— 1937: Preliminary report on a determination of comparative infiltration rates on some major soil types. *Amer. Geophys. Union Trans.* (1937) 18, pt. 2: 345—349.
- NEAL, J. H., 1938: The effect of the degree of slope and rainfall characteristics on run-off and soil erosion. *Agr. Engin.* 19 (5): 213—217.
- »— 1939: Soil moisture content under various conservation practices. *Amer. Geophys. Union Trans.* (1939) 20, pt. 4: 686—690.
- NYDAHL, F., 1949: Rapid Procedures for the Determination of Manganese in Soil Extracts and Plants. *K. L. H:s Annaler 1949, Vol. 16.*
- PARKER, F. W., 1921: Methods of studying the concentration and composition of the soil solution. *Soil Sci.* 12: 209—232.
- PEARSE, C. K., 1936: Specifications for the construction and operation of a portable apparatus for measuring surficial run-off and erosion. 27 nr 1.
- POWERS, W. L., 1927: A study of the colloidal fraction of certain soils having restricted drainage. *Internatl. Cong. Soil Sci., Washington. D. C. Second Comn. Proc. and Papers* (1927) 1st v. 2: 508—511.
- PURI, A. N., 1949: Soils, their physics and chemistry. New York.
- RAMANN, E., 1888: Untersuchungen über Waldböden. *Forsch. auf. d. Geb. d. Agrik.-physik.* Bd. II.
- REITEMEIER, R. F. & RICHARDS, L. A., 1944: Reliability of the pressuremembrane method for extraction of soil solution. *S.* 119—135.
- RICHARDS, L. A., 1941: A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. *Soil Sci.* 51: 377—386.
- ROGERS, W. S., 1935: Soil factors in relation to root growth. *Internatl. Cong. Soil Sci. First Comn., Oxford, Eng. Trans.* (1935) 3, v. 1: 249—253.
- ROMELL, L. G., 1922: Luftväxlingen i marken som en ekologisk faktor. *Medd. fr. Stat. Skogs-försöksanstalt* 19. Stockholm.
- ROWE, P. B., ILCH, D. M. & BOLLAERT, R., 1937: An infiltration study of a denuded and a forest covered soil. *U. S. Dept. Agr. Calif. Forest and Range Expt. Sta. Res. Note* 14.

- SANDELL, E. B., 1950: Colorimetric determination of traces of metals. Interscience Publishers, Inc. New York.
- SCHOFIELD, R. K., 1935: The pF of the water in soil. Trans. 3rd Int. Soil Cong. 2: 37—48.
- SCHWARTZ, M. C., 1942: Photometric determination of silica in the presence of phosphates. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed 14, 893.
- SCOFIELD, C. S., 1924: The movement of water in irrigated soils. Jour. Agr. Res. 27 (9): 617—693.
- SCOTT, R. H., 1900: Results of percolation experiments at Rothamsted, september 1870 — august 1899. Roy. Met. Soc. (London) Quart. Jour 26: 139—148.
- SHAW, C. F., 1927: The normal moisture capacity of soils. Soil Sci. 23 (4): 303—317.
- SHERMAN, L. K., 1936: The Horton method for determination of infiltration-rates. Amer. Geophys. Union Trans. (1936) 17, pt. 2: 312—314.
- 1938: Determination of infiltration-rates from surfacerun-off. Amer. Geophys. Union Trans. (1938) 19, pt. 1: 430—435.
- SHREVE, F., 1934: Rainfall, run-off and soil moisture under desert conditions. Assoc. Amer. Geog. Ann. 24 (3): 131—156.
- SMITH, F. B., BROWN, P. E. and RUSSEL, J. A., 1937: The effect of organic matter on the infiltration capacity of Clarion loam. Amer. Soc. Agron. Jour. 29 (7): 521—525.
- Standard methods for the examination of water and sewage. Amer. public health association, New York, 1946.
- STAUFFER, R. S. & SMITH, R. S., 1937: Variation of soils with respect to the disposition of natural precipitation. Jour. Amer. Soc. Agron. 29 (11): 917—923.
- STEBUTT, A., 1929: The »Braunerden», a contribution to the theory of the formation of brown soil. Proc. of the Internat. Soc. of Soil Sci., 4: 195—196.
- 1930: Lehrbuch der allgemeinen Bodenkunde. Der Boden als dynamisches System. Berlin.
- STÅLFELT, M. G., 1937: Die Bedeutung der Vegetation im Wasserhaushalt des Bodens. Sv. skogsvårdsför. tidskr. 1937: 2.
- 1944: Granens vattenförbrukning och dess inverkan på vattenomsättningen i marken. Kungl. Lantbr.-akad. tidskr. årg. 83.
- TAMM, C. O., 1947: Markförbättringsförsök på mager sand (Soil-improving measures tried on a poor site). Medd. fr. Statens Skogsforskningsinst. Band 36 nr. 7.
- 1951: Removal of plant nutrients from tree crowns by rain. Physiologia Plantarum, vol. 4, s. 184—188.
- 1953: Growth, Yield and nutrition in carpet of a forest moss. Medd. fr. Statens Skogsforskningsinst. Band 43 nr. 1.
- 1954 a: Svenska undersökningar över skogens näringstillstånd. Växtnäringsnytt, Häfte 2, årg. 10 s. 14—18.
- 1954 b: Om gödsling av skogsmark II. Sv. skogsvårdsföreningens tidskrift, nr 4, 1954, Stockholm.
- TAMM, O., 1920: Markstudier i det nordsvenska barrskogsområdet. Medd. fr. Statens Skogsförs.-anst. 17.
- 1921: Om berggrundens inverkan på skogsmarken. Medd. fr. Statens Skogsförs.-anst. nr 18.
- 1925: Grundvattenrörelser och försumpningsprocesser, belysta genom bestämning av grundvattnets syrehalt i nordsvenska moräner. Medd. fr. Statens Skogsförs.-anst. nr 22.
- 1927: Några synpunkter på skogsmarkens fuktighetstillstånd. Skogen. Stockholm.
- 1931: Studier över jordmånstyper och deras förhållande till markens hydrologi i nordsvenska skogsterränger. Medd. fr. Statens Skogsförs.-anst. 26.
- 1934: En snabbmetod för mineralogisk jordartsgranskning. Svenska skogsvårdsföreningens tidskrift.
- 1940: Den nordsvenska skogsmarken. Stockholm.
- 1954 a: Till frågan om bestämning av klimatets humiditetsgrad i Sverige. (De la détermination du degré d'humidité du climat en Suède.) Kungl. Lantbruksakademiens tidskrift. Årg. 93.
- 1954 b: Marklära I. Kompendium. Skogshögskolans studentkårs kompendiekommitté, Stockholm.
- THOMAS, H. E., 1951: The conservation of ground water. A survey of the present ground-water situation in the United States. McGraw-Hill Book Comp., Inc. New York.
- THURMANN-MOE, P., 1941: Om skogens innflytelse på jordens vannförråd. Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole = Jordundersökelsens småskrift nr. 27. Oslo.
- TOMKIN, E. R. & KIRK, P. L., 1942: Quantitative drop analysis. XVI. An improved diffusion method for total nitrogen. J. Biol. Chem. 142, 477.

- TROEDSSON, T., 1952: Den geologiska miljöns inverkan på grundvattnets halt av lösta växtnäringsämnen. Kungl. Skogshögskolans Skrifter. Nr 10 1952.
- »— 1953: Några synpunkter på de geologiska kartornas användbarhet i skogsbruket. Kungl. Skogshögskolans Skrifter. Nr 19. 1953.
- TRYSELUS, O., 1946: Om avdunstningen i södra Sverige. Kungl. Lantbruksakademiens Tidskrift. Nr 5. Årg. 85. s. 468—476.
- WALDHEIM, S., 1947: Kleinmoosgesellschaften und Bodenverhältnisse in Schonan. Botaniska Notiser, Suppl. Vol 1: 1.
- WAY, J. T., 1850: On the power of soils to absorb manure. Roy. Agr. Soc. England Jour. 11: 313—379.
- WEAVER, J. E. & CHRIST, J. W., 1924: Direct measurement of water loss from vegetation without disturbing the normal structure of the soil. Ecology 5: 153—170.
- WEBER, A., 1953: Feld- und Laboratoriums Forschungen über die Bodenerosion in den Wäldern und die Methoden der Erosionsverhinderung in den U. S. A. Österreichisches Produktivitäts-Zentrum, s. 44.
- VEIHMAYER, F. J. och HENDRICKSON, A. H., 1931: The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. Soil Sci., 32: 181—193.
- WIKLANDER, L., 1946: p. 41. Studies on ionic exchange. With special reference to the conditions in soils. Lantbrukshögskolans Annaler. Vol. 4.
- VIRO, P. J., 1947: Metsämaan Raekokoomus ja Viljavuus, Varsinkin Maan Kivisyttä Silmällä Pitäen. (The mechanical composition and fertility of forest soil taking into consideration especially the stoniness of the soil.) Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 35: 2. Helsinki.
- »— 1953: Loss of nutrients and the natural nutrient balance of the soil in Finland. Ravinteitten Huuhtoutuminen Ja Maan Luontainen Ravinnetase Suomessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 42. 1.
- WITTICH, W., 1938: Wasserfaktor und Kiefernwirtschaft auf diluvialen Sandböden. Die Bedeutung der Bodendecke. Zeitschrift. f. Forst- u. Jagdwesen. Årg. 60, H 7.
- WOLLNY, E., 1880: Untersuchungen über den Einfluss der Behäufelung auf die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse der Ackererde. Forsch. a. d. Geb. d. Agrik.-physik. 3 Heidelberg.
- »— 1888: Untersuchungen über den Einfluss der Pflanzendecke und der Beschattung auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Wollny's Forsch. Agr.-Phys. 10: (261)—344.
- »— 1890: Untersuchungen über den Einfluss der Streudecke auf die Erwärmung und Durchfeuchtung des Bodens. Die Sickerwassermengen in dem streubedeckten Boden. Wollny's Agr.-Phys. 13: 176—184.
- »— 1895: Über die Feuchtigkeitsverhältnisse der Bodenarten. Wassergehalt der Böden in verschiedenen Tiefen. Ibid. 18.
- »— 1896. Untersuchungen über die Sickerwassermengen in verschiedenen Bodenarten. Wollny's Forsch. Agr.-Phys. 19: 212—223.
- WORK, R. A. & LEWIS, M. R., 1934: Moisture equivalent, field capacity, and permanent wilting percentage and their ratios in heavy soils. Ag. Eng. 15: 1—20.
- ZUNKER, F., 1930: Das Verhalten des Bodens zum Wasser. Handbuch der Bodenlehre, Band VI, s. 66—220.
- ØDELIN og VIDME, 1945: Lysimeterförsök på Ås 1938—43. Medd. nr 29 fr. N. L. H. Medd. från Norges Landbrukshøgskole, 25, s. 273—362.

Zusammenfassung

Das Wasser des Waldbodens

Studien mit besonderer Berücksichtigung der Entstehung und der chemischen Eigenschaften des Oberflächenwasser, des Sickerwassers und des Grundwassers.

Die vorliegende Arbeit beabsichtigt den Wasserfaktor im Waldboden Schwedens in recht weitgestreckter Bedeutung näher zu studieren. Die Wasserbewegungen des Waldbodens sind äusserst kompliziert und nicht zum wenigsten von der variierenden Korngrösse und Zusammensetzung der Moränenböden abhängig. In unserem Lande gibt es nur zerstreute Kenntnisse von der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers im Waldboden. Noch weniger sind die Eigenschaften des Oberflächenwassers sowie die des Sickerwassers bekannt. Die Fragestellung betreffs des Wasserfaktors im Waldboden kann man daher anfangs recht einfach formulieren: Wie gross ist der Teil des Niederschlages, der jährlich bis zum Grundwasser hinunterdringt, und wie gross sind die dabei ausgelaugten Mengen der gewöhnlichsten Pflanzennährstoffe? Die Problemstellung muss teils von der chemischen und teils von der physikalischen Seite betrachtet werden. — Darum ist das Grundwasser, das Sickerwasser und das Oberflächenwasser von sowohl chemischer als physikalischer Seite studiert worden. Dagegen hat das gebundene Wasser nicht allzu eingehenden Detailuntersuchungen unterzogen werden können. Die Feldarbeiten haben Wasserprobenentnahmen während des ganzen Jahres sowie Lysimeterversuche, Düngungsversuche, Infiltrationsuntersuchungen etc. umfasst. Die Untersuchungsgebiete verteilten sich hauptsächlich auf Süd- und Mittelschweden mit nur einzelne Versuche auf Nordschweden.

KAP I. DIE METHODIK.

Die Arbeiten am Laboratorium umfassten: Analysen von einem Teil der in den verschiedenen Wässern vorhandenen Stoffe, Perkolierungsversuche, Auspressungen des Sickerwassers mittelst einer speziellen Druckapparatur (siehe Fig. 1), Elektrodialysen etc. — Die Kieselsäure wurde kolorimetrisch mit Ammoniummolybdat nach SCHWARTZ, (1942) bestimmt. Die Bestimmung des Eisens geschah durch die Ortho-Phenanthrolinemethode nach SANDELL (1950). Mangan wurde mit Ammoniumperoxydisulfat nach NYDAL (1949) und Magnesium mit Titangelb nach SANDELL (1950) bestimmt. Natrium, Kalium und Calcium wurden flammenphotometrisch nach C. O. TAMM (1953) und Aluminium kolorimetrisch mit Aluminon bestimmt. Die Chloranalysen wurden im Prinzip nach JANDER & PFUNDT (1945) ausgeführt. Die Bestimmung des totalen Stickstoffes geschah nach einer modifizierten Methode von TOMKIN & KIRK (1942 resp. KIRK 1950).

Die Feldarbeitsmethoden umfassten Aufsaugen von Wasserproben durch Messingrohre (4—5 mm im Diameter) mit Hilfe einer Quecksilberpumpe. — Auch wurden Bodenproben im Felde gepresst, mit Hilfe eines Apparates (Fig. 2), der sich nur wenig von dem Laboratoriumsapparat unterscheidet. Die Messungen des Grundwasserstandes wurden in Eisenrohren durchgeführt, deren innerer Diameter 16 mm betrug. Durch besondere

Deckel wurde das Eindringen der Niederschläge längs den Eisenrohren in den Boden verhindert. Um das über die dicht gelagerte, vom postglacialen Meere nicht ausgewaschene Moräne rieselnde Grundwasser aufzusammeln, sind besondere Zelluloidscheiben benutzt worden (siehe Fig. 19). Das Sickerwasser wurde mittelst besonderer Lysimeterrinnen, deren Konstruktion aus Fig. 3–5 hervorgeht, aufgesammelt. Diese Lysimeterrinnen erlauben das Einsammeln von Sickerwasser, ohne dass das Bodenprofil im übrigen sich verändert.

Alle Erdproben wurden zwecks Erhaltung der Feuchtigkeit in Plasttöchern verpackt, die Wasserproben sind in sogenannten Polyetenflaschen aufbewahrt worden, die chemisch resistent und auch frostbeständig sind. Alle übrigen Methoden gehen aus dem Texte hervor.

KAP II. DIE UNTERSUCHUNGSGEBIETE.

Die Untersuchungsgebiete sind eingehend in geologischer, botanischer, klimatologischer und pedologischer Hinsicht studiert worden. Fig. 30–35 zeigen die geografischen Lagen der verschiedenen Untersuchungsgebiete. Die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse sind dort ebenfalls angegeben. Die pedologischen und pflanzensoziologischen Beschreibungen der Gebiete gehen aus dem Kap. IV. hervor.

Das Bjurforsgebiet ist ein Teil des Staatsforstes Bjurfors und liegt im Süden der Regierungsbezirk Dalarna, nahe der Grenze nach Västmanland. Das Versuchsgebiet liegt 135–160 m ü. M. h., d. h. tief unter der höchsten Küstenlinie.¹⁾ Das feste Gestein der Gegend ist Leptitgneis. Die quartären Ablagerungen bestehen meistens aus relativ dünnen Moränen (1–2 m). Der nackte Fels tritt oft zu Tage. In kleinen Bodenvertiefungen findet man verschiedene Wassetimente, wie Ton, Schluff, Feinsand, Sand und Kies. Manchmal kommen recht grosse, flache Moränengebiete vor, wo die seitliche Grundwasserbewegung sehr langsam ist. Die Bjurforsgegend war mein wichtigstes Arbeitsgebiet, deshalb ist auch hierüber eine spezielle geologische Karte (siehe Fig. 6) angefertigt worden. Die Untersuchungspunkte s. Fig. 8. Mechanische Analysen der Moränen, s. Tab. 50 und TROEDSSON, 1953.

Grenholmen liegt 20 km ONO von Norrtälje, an der Ostsee, 10–15 m ü. M. h. Kiesig-sandige Moräne mit einer Beimischung von tonigem unter CaCO_3 -reichem Kambrosilurmaterial. Das Bodenprofil ist hauptsächlich Braunerde oder braunerartig. Die Versuche verteilten sich meistens auf die Gebiete mit *Hylocomium splendens* und *Pleurozium Schreberi* als Bodenvegetation im mittelaltrigen Nadelmischwald.

Hillarp liegt 17 km NW von Hässleholm, an der Südostkante des hochhumiden Gebietes von Südwestschweden. Sandige Moräne. Eisenpodsol. Die meisten Versuche sind in diesem Waldtyp durchgeführt worden, was aus Kap. IV: 4: c ersichtlich ist.

Röskär liegt 11.5 km NO von Stockholm, 12 m über der jetzigen Meereshöhe. Mittelaltriger Nadelmischwald mit *Hylocomium splendens* und *Pleurozium Schreberi* sowie Gras. Feinsand.

Jägarhyddan liegt innerhalb des hochhumiden Gebietes von Südwestschweden, nahe (1 km) der meteorologischen Station Singshult. Die hier ausgeführten Versuche sind vor allen Dingen Lysimeterversuche auf sandig-feinsandigem Boden.

Das Versuchsfeld Mölna liegt ungefähr 5 km NO von der Station Vaggeryd, an der Eisenbahnlinie Nässjö–Halmstad. Die Bodenart besteht aus armem, kiesigem Sand. Der Waldtyp ist ein schwachwachsender Kiefernwald mit zerstreuten Flechten. Hier wurden Düngungsversuche vorgenommen.

Garpenberg liegt in Süddalarna, 15 km östlich von der Stadt Hedemora. Sandig-feinsandige Moräne. Die Versuchsflächen liegen 180–190 m ü. M. h. Mittelaltriger Nadelmischwald mit hauptsächlich *Hylocomium splendens* und *Pleurozium Schreberi*.

¹⁾ D. h. die höchste Uferlinie des postglazialen Meers.

KAP. III. DIE WASSERFRAKTIONEN DES WALDBODENS.

Das freie und das gebundene Wasser des Bodens wird hier behandelt. Der Zusammenhang zwischen der Art und der Weise des Vorkommens von dem Wasser und dem Gehalt an Nährstoffen wird durch Fig. 7 veranschaulicht. (Vergl. auch ENGLER 1919, HALDEN 1926, THURMANN-MOE 1941, STÄLFELT 1944). Um daraus an eine Wasserbalance des Waldbodens anlangen zu können, muss man vor allem über das Entstehen und die Eigenschaften des Oberflächenwassers des Sickerwassers und des Grundwassers klar sein.

KAP. IV. DIE CHEMISCHEN EIGENSCHAFTEN DES GRUNDWASSERS IM WALDBODEN.

Die Grundwasserproben sind hauptsächlich durch die oben erwähnten Messingrohre emporgesaugt worden. Um klarzulegen in wie weit die verschiedenen Tiefen, von denen das Grundwasser aufgesaugt wurde, Unterschiede in Gehalten an gelösten Stoffen verursachen können, ist Tab. 1 zusammengestellt worden. Aus dieser Tabelle geht hervor, dass die Tiefe der Probeentnahme nur von nebensächlicher Bedeutung ist. Die Analyse 410 stellt einen Sonderfall dar. Er erklärt sich dadurch, dass der Boden hier im März eine Durchnässung erfährt, wodurch die Ionen, die seit der letzten Vegetationsperiode zurückgeblieben sind, ausgelaugt werden. Die Untersuchungen, die sich auf das bewegliche Grundwasser beziehen, sind zum grössten Teil in Abhängen innerhalb des Staatsforstes Bjurfors gemacht worden. (Die Lage der einzelnen Lokale ist aus Fig. 8 ersichtlich.)

Aus Fig. 9—18 geht die Festlegung der verschiedenen Nährstoffe im Boden hervor. Hier sind auch die Transportverhältnisse der Nährstoffe an Abhängen mit seitlich beweglichem Grundwasser eingegeben. Oft ist es sehr schwierig, einem Wasserstrom einen Abhang abwärts verfolgen zu können. Meistens sind solche Ströme nur einige kurze Stunden während einer Regenperiode beweglich. Fig. 9 gibt ein Beispiel dafür, dass ein und der selbe Strom wirklich mit Probeentnahmen gefolgt werden konnte. Auch Fig. 11 zeigt im grossen und ganzen dieselbe Sache. Die Fixierung der Kaliumionen im Boden geht aus Tab. 2 und 3 hervor. Bei Tab. 3 hat man noch die Möglichkeit, zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser unterscheiden zu können. Ein hoher Aluminiumgehalt und ein niedriger Kaliumgehalt kennzeichnen das Oberflächenwasser, ein entgegengesetztes Verhältnis das Grundwasser. Tab. 3 gibt auch ein klares Bild über die Fixierung des Magnesiumions im Boden. Lokalgruppe II (Fig. 15) zeigt, dass die Vegetation keine Anhaltspunkte für die Eigenschaften des Grundwassers gibt. Z. B. kann das Grundwasser eines Bodens mit Sumpflvegetation (Lokal C) einen hohen Sauerstoffgehalt und das Grundwasser eines Bodens mit normaler Vegetation (Lokal D) einen niedrigen Sauerstoffgehalt haben. Lokalgruppe III (Fig. 16) gibt ein Beispiel eines Grundwassers, das auf der normalen, gepackten Moräne, in den oberen, lockeren Schichten des Bodenprofils fliesst, und das die gleiche Ionenkonzentration besitzt, wie ein tiefes Eisenpodsol-Grundwasser in ebenen Gebieten. Eine ähnliche Ionenkonzentration erhält man auch in dem Wasser, welches in Adern längs der Felsunterlage der Moränen (Fig. 17, Lokal A, C, D) sowie im groben, geschlemmten Kies auf gepackter Moräne rinnt. Das Oberflächenwasser sowie das Grundwasser (bei den oben angeführten Bedingungen) haben eine ganz ähnliche Zusammensetzung, auch falls die Bodenarten mineralogisch reicher sind als die Leptitgneismoränen des Bjurforsgebietes. In Fig. 18 sind entsprechende Untersuchungen in einer an basischen Gesteinen reicheren Moräne behandelt worden. Die Verhältnisse sind hier übereinstimmend, d. h. eine fast allgemeine Ähnlichkeit zwischen dem Oberflächenwasser und dem Grundwasser liegt vor.

In Tab. 8 und 9 sind eine Anzahl Analysen von einem flachen Gebiet mit mittelaltrigem, hylocomiumreichem Nadelmischwald, zusammengeführt worden. Die »Ernährung« des Grundwassers geschieht nur durch den Niederschlag von oben. Jeder Seitenzufluss ist somit ausgeschlossen. Das Grundwasser befindet sich in etwa 1–2 m Tiefe. Die Untersuchungen zeigten, dass das Leitungsvermögen und damit auch der Kationengehalt während der ganzen, untersuchten Periode (Tab. 9) konstant bleiben. Dies muss als Zeichen eines recht konstanten Gleichgewichts des Ionenaustausches im Boden gedeutet werden (vergl. TROEDSSON 1952). Es konnte ebenfalls nachgewiesen werden (Tab. 10 und 11), dass das Grundwasser in kleinen Sumpfflächen nur im begrenzten Umfang das Grundwasser der unversumpften Stellen beeinflussen kann und vice versa. Tab. 10 zeigt Grundwasser, welches in kleinen Sumpfstellen vorkommt, die innerhalb eines grösseren, normalen Gebietes von dem die Analysen in Tab. 11 herkommen, verteilt sind. Ein Vergleich zwischen den beiden Grundwassertypen geht aus Tab. 12 hervor. Dass die beiden Grundwassertypen in diesem kleinen Gebiet, dessen Begrenzung aus Lokalkarte Fig. 8 hervorgeht, sich nicht im Boden vermischen, beruht auf der langsamen Seitenbewegung des Grundwassers in einer solchen sandig-feinsandigen Moräne. — In Fig. 20 und Tab. 13 ist eine andere Untersuchungsstelle beschrieben, wo das Oberflächenwasser und das Grundwasser betreffs der Zusammensetzung viel ähnlicher sind, was auf der schnellen Perkolation des Oberflächenwassers herunter zum Grundwasser beruht. Tab. 14 zeigt, dass ein Oberflächenwasser, welches längere Zeit unter einer deckenden Vegetation stillgestanden hat, meistens sehr hohe Gehalte von Elektrolyten erhält (Analyse 70), während ein Grundwasser, welches einige 100 m im geschlemmten Kies hervorgeflossen ist, einen ziemlich niedrigen Kationengehalt bekommt (Analyse 67).

Um die Fixierung der verschiedenen Kationen beim Transport in offenen Gräben, die zuweilen die Sumpfböden durchziehen, studieren zu können, sind sämtliche solche Gräben des Versuchsgebietes mit Probeentnahmen und Analysen untersucht worden (Fig. 21). Die jährliche Strömungsintensität ist versuchsweise durch verschiedene Dicke in der Bezeichnung der Wasserläufe veranschaulicht worden (Fig. 21). Auf derselben Karte sind eine Anzahl numerierte Untersuchungsstellen verzeichnet, die sich auf Analysen in Tab. 15 beziehen. Eine sehr wichtige Schlussfolgerung ist, dass lehmige und tonige Sedimente, sowie bebaute und bestellte Plätze (die häufig auf solchen Sedimenten liegen) den Dränagewässern grosse Mengen an gelösten Stoffen liefern. Das bedeutet, dass die chemische Denudation von Moränengebieten, (die einen sehr grossen Teil unseres Landes ausmachen), bedeutend kleiner pro km² ist als diejenige unserer Gebiete mit meinkörnigen Sedimenten.

Wie schon erwähnt, sind viele Gebiete für meine Untersuchungen verwendet worden. So gibt Grenholmen (Kap. IV: 4: b) ein Beispiel eines Grundwassers mit hohen Kationgehalten. Eine Ähnlichkeit betreffs des Elektrolytgehaltes des Grundwassers und des Oberflächenwassers wie im Bjurfors, ist ebenfalls hier vorhanden (Tab. 16–21). Auch hier erhält man sehr hohe Gehalte im Oberflächenwasser, falls dieses zeitweilig stehen bleibt. Diese hohen Gehalte hängen natürlich mit dem Vohandensein eines reicheren Waldstreus auf dem Boden zusammen.

Von den übrigen Gebieten mag Högantorp (Tab. 22) erwähnt werden, wo der glaziale Ton mit seinem hohen Kalkgehalt dem Grundwasser die Prägung gibt. — Der konstante Elektrolytengehalt des Grundwassers von Hillarp (Tab. 23) ist interessant. — Natürlich spielt auch die Art des Bodenprofils eine wesentliche Rolle für die chemische Zusammensetzung des Grundwassers. Dieser Umstand hat aber nicht unbegrenzte Gültigkeit, was auch aus Tab. 24 ersichtlich ist.

KAP. V. STUDIEN ÜBER DIE EIGENSCHAFTEN DES SICKERWASSERS.

Literaturstudien zeigten dass die meisten, früher durchgeführten Lysimeterversuche keine eindeutige Auffassung über die Elektrolytverhältnisse der Sickerwässer ermitteln. In Schweden sind einige Lysimeterversuche ausgeführt worden (v. FEILITZEN 1912), die sich aber nur auf beackerten Böden bezogen. — Es ist fast unmöglich Parallelen zwischen den Resultaten der verschiedenen Länder zu ziehen, da Niederschlag und Temperatur sehr verschieden sind. ØDELIN & VIDME (1945) betonen dass der Niederschlag einen Wert von ca 700 mm erreichen muss um überhaupt ein auf breiter Front¹⁾ perkolierendes Sickerwasser erzeugen zu können. — Es ist gar nicht möglich die Abrinnungs- und Verdunstungswerte von bewaldeten sowie unbewaldeten Böden, die z. B. ENGLER (1919) durch seine berühmten Untersuchungen erhalten hat, direkt auf unsere bewaldeten Böden zu übertragen.

Die Resultate meiner Lysimeterversuche gehen aus den Tabellen 27, 28, 31 (Bjurfors) und 32 (Röskär) sowie 36 (Jägarhyddan) hervor. Die grösste Menge perkoliertes Wassers liefert das stark humide Gebiet von Jägarhyddan, wo man aber in 1,10 m Tiefe nur 6,7 % des jährlichen Niederschlages erhält. Aus den Tabellen 30, 34 und 37 ist der Grundwasser- und der Sickerwasserzusammensetzung der verschiedenen Gebiete ersichtlich. Bemerkenswert sind die grossen Unterschiede zwischen der chemischen Zusammensetzung des Grundwasser und derjenigen des Sickerwassers. Um zu untersuchen, wie langsam das Sickerwasser durch den Boden sinkt, ist der Chlorgehalt des Bodens bestimmt worden. Im Diagramm, Fig. 22, sind die im Laufe eines Jahres festgestellten Chlorgehalte des Bodenwassers von Bjurfors, Röskär und Knisslinge (in Nordschonen) veranschaulicht. Man kann aus dem Diagramm ersehen, dass unter dem Niveau von ca 60 cm eine Auslaugung des Chlors kaum mehr vorgekommen ist. Dies erkläre ich dadurch, dass das sehr leichtlösliche Chlor aus diesen sehr schwachpodsolierten Böden nicht vermittle Wasserseigerung entfernt wird. Es muss vielmehr während 5—6 Jahre durch Diffusion weggeführt worden sein. Diese Annahme wird durch die Tatsache erhärtet, dass ich in einem besonders niederschlagsarmen Gebiete in Nordostschonen einen viel höheren Chlorgehalt als in den Röskär- und Bjurforsgebieten festgestellt habe (siehe Fig. 22). — In allen Fällen war der Waldtyp ein hyloco-miumreicher, wuchskräftiger, mittelalttriger Nadelmischwald.

Sowohl die Lysimeterversuche als auch die Versuche mit Chlorionen weisen eindeutig darauf hin, dass nur geringe Mengen des Sickerwassers auf breiter Front das Grundwasser erreichen. Das Sickerwasser hat eine bedeutend höhere Kationenkonzentration als Oberflächenwasser und Grundwasser. Dies erklärt sich daraus dass jene Wasserarten näher mit einander verbunden sind als Sickerwasser und Grundwasser. Die Bewegungen des Sickerwassers sind nämlich meistens ganz unabhängig von denen der anderen Wasserarten.

Im Laboratorium habe ich das Sickerwasser mit einer ziemlich einfachen Methode untersucht. Nach REITEMEIJERS Pressmembranmethode (1941) habe ich das Wasser aus verschiedenen Bodenarten — hauptsächlich Moränen — ausgepresst, und dann analysiert. Die Erdproben waren anfangs wassergetränkt, und später wurde dann dieses Wasser so lange ausgepresst, bis der so genannte »Verwelkungspunkt» der Pflanzen erreicht wurde. Die Entwässerung der Proben wurde mit Hilfe SCHOFIELDS (1935) pF-Skala verfolgt, (s. Fig. 23). Eine für den Staatsforst Bjurfors typische Moränenprobe wurde zu wiederholten Malen mit Wasser gesättigt und dann ausgepresst. Im Ganzen wurde die betreffende Probe 29 Mal ausgepresst, und die so erhaltene Bodenfeuchtigkeit wurde auf Kalium, Natrium, Calcium und Chlor analysiert (siehe Tab. 38). Ganz unten auf der Tabelle sind die Kationengehalte des Grundwassers zum Vergleich angegeben. Laut Tab. 39 haben diese Pressungen nur

¹⁾ D. h. eine Perkolation, wobei alle Mineralkörner mit Wasser umgeben werden.

bewirkt, dass lediglich ein geringer Teil der leicht zugänglichen Ionen ausgelaugt wurde. Auch hatte das ausgepresste Sickerwasser wesentlich höhere Gehalte als das Grundwasser. Folglich muss das Grundwasser seinen Zufluss direkt vom Oberflächenwasser, nicht vermittels Sickerwassers,¹ beziehen. Diese Resultate stimmen gut mit den Lysimeterversuchen, die eine sehr langsame Bewegung des Sickerwassers anzeigen, überein. In diesem Zusammenhang konnte es klar gezeigt werden, dass man beim Pressen der Erdproben bei verschiedenen pH-Werten eine freilich schwache aber immer fortgesetzte Auslaugung der verschiedenen Metallkationen erhält (Tab. 40). Diese Auslaugung folgt dem Gesetzen des so genannten DONNAN-Gleichgewichtes (WIKLANDER 1946 S. 41).

In Kap. V: 8 werden Düngungsversuche auf dem Versuchsfeld von Mölna beschrieben (Fig. 24). Diese wurden vor allem angestellt, um zu studieren, wie schnell die verschiedenen Kationen mit dem Sickerwasser hinunter zum Grundwasser gelangen. Versuche über den Düngungseffekt auf die Bäume wurden also gar nicht angestrebt. Die Anordnung der Düngungsversuche ist aus Fig. 24 ersichtlich. Dadurch, dass der Grundwasserspiegel verhältnismässig konstant gehalten wird, kann man von sonst gewöhnlichem Ansteigen des Grundwassers während des Herbstes und des Frühlings absehen. Es kann somit nicht eine dadurch verursachte Auswaschung der abwärtssinkenden Kationen stattfinden. Aus Fig. 25 ist die sukzessive Auslaugung des Natriums, des Kaliums, des Calciums und des Magnesiums ersichtlich. Die Versuche wurden am 22. April 1951 angelegt, und im August desselben Jahres wurde eine — wenn auch unregelmässige — Auslaugung bis zu einer Tiefe von 50 cm festgestellt. Im gleichen Zeitraum fielen 200 mm Niederschlag. Bis Januar 1952 war wieder noch 400 mm gefallen, aber trotzdem konnte eine Auslaugung tiefer als bis zur Halbmetergrenze nicht festgestellt werden. Die Bodenart besteht aus Sand, häufig ziemlich grob und mit etwas Kies. Aus Fig. 35 gehen die meteorologischen Daten der oben erwähnten Versuchsperiode hervor. Gleichzeitig mit diesen Probeentnahmen wurden Bestimmungen des Feuchtigkeitsgehaltes im Bodenprofil bis zum Grundwasser ausgeführt (Tab. 42). In etwa 1 m Tiefe ist der Wassergehalt ungefähr 3 % (des Trockengewichtes), folglich kann eine Perkolierung auf breiter Front nicht vor sich gehen. (Siehe unten). Bis zu einer Tiefe von 50 cm ist der Feuchtigkeitsgehalt relativ hoch, und bis dahin aber nicht tiefer, konnte auch eine Auslaugung festgestellt werden. Im Diagramm der Fig. 25 sind auch chemische Analysen vom Grundwasser der gedüngten Parzellen eingetragen. Diese Analysenwerte zeigen, dass das Grundwasser wesentlich kleinere Gehalte von Elektrolyten als das Sickerwasser aufzuweisen hat, was von neuem die Ansicht des Verfassers bestärkt, dass die Perkolierung auf breiter Front äusserst langsam vor sich geht.

KAP. VI. DIE INFILTRATION DES NIEDERSCHLAGES IM WALDBODEN.

Ein Studium der Litteratur zeigt dass die Infiltration des Niederschlages von vielen Faktoren abhängig ist, wie z. B. der Porosität, der Korngrösse der Bodenart, der Bodenstruktur, dem Feuchtigkeitsgehalt, dem Gehalt an organischem Material, den topografischen Verhältnissen, der Vegetation, der Bodenfauna, der Temperatur u. s. w. Es ist meistens ein ungemein komplizierter Faktorenkomplex der die Bodeninfiltration beeinflusst. Von MUSGRAVE & FREE (1937), LEWIS & POWERS (1938), BENNET (1939), HORTON (1937), SCOFIELD (1924) u. a. ist die Bodeninfiltration des Niederschlages sehr eingehend behandelt worden. Bei seinen wiederholten Wassergehaltsbestimmungen im Waldboden hat Verf. gefunden, dass die Feuchtigkeit nahe der Bodenoberfläche am stärksten ist, und dann nach unten hin abnimmt, um kurz bevor der Grundwasserniveau wieder anzusteigen. Fig. 27 zeigt die im Laufe eines Jahres bei Rösikar durchgeführten Wassergehaltsbestimmungen.

¹ Heruntersickern auf breiter Front (s. oben).

(Die meteorologischen Daten sind aus Fig. 33 ersichtlich). Die kleinsten Feuchtigkeitswerte wurden in einer Tiefe von 40–110 cm erhalten, also zwischen der Humusdecke mit ihrem Infiltrationswasser und den Grundwasserführenden Schichten. Bei der oben erwähnten Tiefe zeigen die Kurven keine Veränderungen während des Laufes eines Jahres, obwohl recht starke Niederschläge zu verzeichnen sind. Ähnliche Beobachtungen, die meine Resultate stark stützen, sind früher schon durch eine Anzahl Forscher gemacht worden wie RAMANN (1888), HALDEN (1926) und CRAIB (1929). Im Hinblick auf die Wasservorräte im Boden, auch in seiner Humusdecke, ist es notwendig zu untersuchen wie grosse Niederschlagsmengen, die auf diese Art und Weise gebunden werden können. Zu diesem Zwecke sind Bewässerungsversuche, und zwar im Staatforst Bjurfors, ausgeführt worden, (s. Tab. 43). Die Versuche wurden in hylocomiumreichen, mittlaltrigen Nadelmischwäldern sowie Fichtenwäldern ausgeführt. Die Bodenvegetation war immer so gleichartig wie möglich. Die Versuche wurden in folgender Weise ausgeführt: Der Boden wurde mit ung. 0,8 m² grossen Platten auf bestimmten Stellen bedeckt, während übrigen Stellen frei blieben. Eine Anzahl sehr kleine Regenmesser (20–30 Stück) wurden rings um jede Platte aufgestellt. Nach einem Regen wurden vergleichende Feuchtigkeitsbestimmungen im Boden, teils unter den Platten, wohin der Regen nicht dringen konnte, teils auf den freigebliebenen Stellen, durchgeführt. Aus Tab. 43 geht hervor, dass in fast jedem Versuch während des Sommers eine vollständige Bindung im Humuslager von dem nicht verdunstenden Teile des Niederschlages stattfand. Auch bei intensiven Bewässerungen, 200 mm Niederschlag in 2 Tagen entsprechend, drang das Wasser nur sehr wenig in den Mineralboden hinunter. Tab. 43 zeigt auch, dass wo die Oberfläche steinreich ist, wird die Heruntersickerung bedeutend grösser. Dieser Umstand erklärt, warum es bei (vom postglazialen Meer) ausgewaschenen und folglich kiesigen Abhängen — auch bei relativ kleinen Niederschlagsmengen — eine ziemlich gute Grundwasserrieselung oberhalb der unteren, unausgewaschenen Moränenschichten stattfindet.

Meine Untersuchungen haben gezeigt, dass ein grosser Teil des Niederschlages, wenigstens während des Sommers, in der Humusdecke gebunden wird. Die Lysimeterversuche und die Versuche im Laboratorium stützen ebenfalls die Auffassung, dass der Wasserzufluss des Grundwassers gewisse, bestimmte Bahnen folgen muss. Ich habe gefunden, dass diese die folgenden sein können: 1. Obere, ausgewaschene Moränenschichten die das Wasser nach bestimmten Drainierungswegen leiten, 2. Wurzelkanäle, 3. Bahnen entlang Felsobenflächen unter der Moräne. Um näher zu untersuchen in wie weit die Flächen von fast nacktem Felsboden zur »Ernährung« des Grundwassers durch Wasserzufuhr mitwirkt, wurden einige Wasserstandsrohre (siehe Fig. 28) aufgestellt. Als Vergleichsfläche wurde eine ebene, sandige — feinsandige Moränenfläche ausgewählt, wo einige Grundwasserobservationsrohre angebracht wurden. (Nur die ganz hoch gelegenen Stellen der Niveauekarte von Fig. 28 bestehen aus packtem Felsboden). Wasserstandsmessungen in den Rohren wurden wiederholt nach Regen während einer Periode von mehreren Tagen durchgeführt. Es war möglich auf den verschiedenen Untersuchungspunkten festzustellen, wie lange Zeit eine Niederschlagsmenge bestimmter Grösse benötigt, um merkbar den Grundwasserspiegel zu beeinflussen. In Tab. 44 sind einige Typresultate zusammengestellt worden. Der obere Teil der Tabelle bezieht sich auf Untersuchungsstellen des Felsbodengebietes, während der untere Teil der Tabelle die Observationsresultate des ebenen Moränengebietes enthält. Bei 2,9 mm Niederschlag erhält man eine bis 155 mm betragende Wasserstandserhöhung, (das Felsbodengebiet, Lokal p). Im Moränengebiet wurde keine Erhöhung des Grundwasserspiegels bei 2,9 mm Regen beobachtet. Die Versuche zeigen, dass der schwankende Grundwasserspiegel keineswegs ein Ausdruck für die Geschwindigkeit ist, mit der der Niederschlag durch die Moräne perkolieren kann. Auch wurde es klar, dass der Zu-

fluss des Wassers von Felsenoberfläche bis zum Grundwasser sehr schnell vor sich geht, und wahrscheinlich von grosser Bedeutung ist. Dort, wo die Felsen unbedeckt oder durch eine ganz dünne Mineralerdschicht überlagert sind, sind die direkten Folgen einer Infiltration klar ersichtlich. In Tab. 45 und 46 sowie in Fig. 29 sind somit einige Bodenprofile angegeben, wo eine deutliche Verwitterung im Boden, eben in der Schicht ganz über der Felsenoberfläche nachgewiesen ist. Diese Beispiele sind nicht extra ausgewählt worden, vielmehr ist es eine Regel, dass in ähnlichen Fällen einen Verwitterungshorizont ganz über der Felsenoberfläche sich findet. Mit der Basmineralindexmethode (nach O. TAMM 1934) wurden die Verwitterungshorizonte leicht nachgewiesen. Der Humusgehalt jener Schicht, die ganz über der Felsenoberfläche liegt, steigt in einzelnen Fällen bis zu 55 % (Profil 1). In Fig. 29 können die verschiedenen Horizonte solcher Bodenprofile gut beobachtet werden.

Der grosse Einfluss der Wurzelkanäle auf den Wassertransport geht daraus hervor, dass die Wasserdurchlässigkeit in einem direkt proportionalen Verhältnis zu der Anzahl Wurzelkanäle per Flächeneinheit steht. Die Wasserdurchlässigkeit zylindrischer Kanäle verhält sich wie bekannt direkt proportional zur vierten Potenz des Durchmessers. Ein Wurzelkanal von 1 mm im Diameter durchlässt also eine Wassermenge, die 10.000 mal grösser ist als diejenige eines Kanals von nur 0,1 mm. Ich habe versucht die Durchlässigkeit des Bodens in den Lysimeterversuchen dadurch zu erhöhen, dass ich Metalldrähte (Diameter etwa 1 mm, Anzahl etwa 20 Stück pro m²) durch die Bodenvegetation in die Erde hineinsteckte. Die Erhöhung der durchsickerten Wassermengen betrug bis zu 200 %, was die grosse Bedeutung der Kanäle zeigt.

KAP. VII. EINIGE RESULTATE BETREFFS DER CHEMIE DER AUSLAUGUNG.

Aus den Kapiteln III–VI geht hervor, dass es nur sehr unbedeutende Mengen von Sickerwasser in normalem Waldboden gibt. Diese neue Anschauung führt zu einer Fülle neuer Gesichtspunkte über mehrere Tatsachen, unter anderen die Voraussetzungen der Podsolierung im Waldboden. Wenn man die totale Auslaugung im Boden studieren will, muss man vor allen Dingen den Transport der Ionen durch die verschiedenen Wasserwege feststellen. Das fordert Untersuchungen über die gelösten Stoffe der verschiedenen, oben erwähnten Wasserarten. Hier werden die Resultate meiner chemischen Wasseruntersuchungen zusammengefasst.

Die gelöste Kieselsäure wandert als negativ geladenes Kolloid, was bewirkt, dass sie nicht so effektiv im Boden gebunden wird. Sie erreicht vielmehr in bedeutender Menge die Wasserläufe. So fand HOFMAN-BANG (1905) bis zu 15,3 mg Kieselsäure per Liter im Flusswasser des Byskeälvs. In meinem Versuchsgebiet bei Grenholmen (die Moränen enthalten CaCO₃) erhält man einen Mittelwert von 15,7 mg SiO₂ per Liter, während die normalen Böden im Leptitgneisgebiet von Bjurfors im Durchschnitt 12 mg/L aufweisen. In den Sumpfböden von Bjurfors, wo die Silikatverwitterung infolge des kleineren pH-Wertes intensiver ist, wird durchschnittlich 15,5 mg SiO₂ per Liter erhalten, d. h. fast ebensoviel wie im Grenholmer Grundwasser. In den Lokalgruppen II, III, VI und IX (Kap. IV) des Staatsforstes Bjurfors hat die Kieselsäure (unterhalb der Abhänge, wo das Wasser ziemlich weit transportiert worden ist) einen Kieselsäuregehalt von ca. 10 mg/L. Der normale Ursprungsgehalt, der bei der Infiltration des Niederschlages im Boden ausgelöst wird, beträgt ca. 20 mg/L (Lokalgruppe III, Kap. IV).

Aluminium kommt in sehr geringen Gehalten im Grundwasser vor. In normalen Böden von Bjurfors hat das Grundwasser einen Mittelwert von 0,1 mg/L, während entsprechende Böden des CaCO₃-reichen Grenholmer Gebietes 0,3 mg/L haben. Beide Mittelwerte sind nicht ganz sicher gestellt, weil die Aluminiumgehalte sehr wechseln. Manchmal sind die Gehalte hoch (0,6 mg/L), aber oft fehlt auch Aluminium ganz (siehe z. B. Tab.

10). Im Eisenhumus- oder Humuspodsolgrundwässer des Bjurforsgebietes beträgt der durchschnittliche Aluminiumgehalt 0,2 mg/L. Auch O. TAMM (1931, S. 260) hat nachgewiesen, dass die Aluminiumgehalte der Sumpfböden bedeutend höher sind als sie der normalen Böden.

Bei Abhängen mit rinnendem Grundwasser wird das Aluminium schon nach einer sehr kurzen Transportstrecke fixiert (Fig. 9). Dieses hängt natürlich damit zusammen, dass das Aluminium recht bald als positives Kolloid im Gelkomplex abgesetzt wird. Merkwürdig ist aber, dass der Aluminiumgehalt des Oberflächenwassers im Bjurforsgebiet durchschnittlich so hoch wie 0,3 mg/L ist. Dies bedeutet jedoch nicht, dass das Dränagewasser des ganzen Bjurforsgebietes hohe Aluminiumgehalte aufweisen muss. Aluminium wird nämlich nach einer ganz kurzen Transportstrecke auch aus dem Oberflächenwasser fixiert. Aber eben im Augenblick der Entstehung des Oberflächenwassers erhält dieses recht hohe Aluminiumgehalte, welches meines Erachtens darauf beruht, dass 25 % der bei der Verwitterung im Waldboden losgelösten Stoffe aus Al_2O_3 (laut O. TAMM 1921, S. 117) bestehen, während höchstens 2 % der gesamten, gelösten Stoffe der Flüsse — z. B. der Byskeälv — aus Aluminiumoxyd + Eisenoxyd bestehen. — Sobald das Oberflächenwasser in Sickerwasser übergegangen ist und dabei die Orterdeschicht erreicht hat, wird dort unmittelbar Aluminium als kolloidales, wasserhaltiges Oxyd ausgeschieden, welches bereits AARNIO (1915) experimentell gezeigt hat. Oft verhält es sich so, dass die Orterde eines Bodenprofils erst da zur deutlichen Ausbildung gelangt, wo die betreffende Bodenart genügend feinkörnig ist. In stark ausgewaschenen Abhängen bildet der Übergang zwischen dem an der Oberfläche liegenden Schlemmkies und der darunterliegenden gepackten, unausgewaschenen Moräne auch einen Übergang zwischen dem A- und dem B-Horizont. Das obere Wasser fließt auf die B-Horizonte, was zur Folge hat, dass das im Wasser befindliche Aluminium verhältnismässig weit transportiert werden kann, ohne fixiert zu werden (siehe z. B. Kap. IV: 3, Lokalgruppen IV u. VIII).

Eisen. Unter reduzierenden Bedingungen wandert das Eisen als Ferroionen im Wasser, aber wenn ein oxydierendes Milieu vorhanden ist wird es als Ferriverbindungen ausgeschieden. Diese Verhältnisse gehen deutlich aus Fig. 15 u. 18 hervor. Andererseits sind die Fe^{3+} -Gehalte des Bjurforsgebietes bedeutend kleiner als O. TAMM (1926, 1931) sie in Västerbotten erhalten hat, und meine Fe^{3+} -Gehalte im sauerstoffreichen Wasser sind gewöhnlich ebenfalls kleiner als die von O. TAMM. Diese Unterschiede im Eisengehalt beruhen darauf, dass ich das in den Böden der Abhängen rinnende Grundwasser untersucht habe, welches sich meistens 10–40 cm unter der Bodenoberfläche findet, während TAMM's Analysen sich gewöhnlich auf ein fast unbewegliches — wenn auch ziemlich sauerstoffreiches — Grundwasser unter der Orterde (der B-Horizont) beziehen. Die Grundwasseranalysen von Bjurfors zeigen ausserdem Eisengehalte, die vollkommen mit denen übereinstimmen, die im Dränagewasser dieses Gebietes (vergl. z. B. Fig. 9 u. 21: Lokal 21), sowie in Bächen und Flüssen (vergl. HOFMAN — BANG 1905) vorkommen.

Mangan findet man in äusserst kleinen Quantitäten im Grundwasser gewöhnlich als Mn^{2+} oder Mn^{3+} . Es kommt in einigen von den dunklen Mineralen vor und ist dort fest gebunden. Die Humussäuren scheinen die Oxyde des Mangans reduzieren zu können (vergl. MULDER 1950, S. 5). So hat O. TAMM (1921) gefunden, dass eine Auslaugung in den Bleicherden vermerkt werden konnte, während eine nennenswerte Anreicherung in der Orterde nicht zu finden war. Letzteres kann sich aus der von mir nachgewiesenen oberflächlichen Abrinnen erklären. Tab. 15 u. 16 zeigen jedoch, dass das Oberflächenwasser bedeutend geringere Mangangehalte als das Grundwasser besitzt. Im Grenholmergebiete mit seinen $CaCO_3$ -gehaltenden Moränen beträgt der Mangangehalt des Grundwassers durchschnittlich 2,9 mg/L (TROEDSSON 1952), während das Grundwasser des Bjurforsgebietes mit seinen Leptitgneismoränen kaum nachweisbare Mengen von Mangan enthält.

Magnesium. Im Bjurforsgebiet wird das Magnesium nach einer ganz kurzen Transportstrecke fixiert. Jedoch erhält das rinnende Grundwasser — soweit es verfolgt werden konnte — einen Minimalwert von $0,5 \text{ mg Mg}^{2+}/\text{L}$ (siehe Tab. 2, Lokale VII). Unterhalb von Abhängen gibt es, beispielsweise in Bjurfors, feinkörnige Wassersedimente wie Schluff und Ton, wo das von den Moränengebieten kommende Wasser seinen ursprünglichen Magnesiumgehalt verdreifacht. (Diese Tatsache geht sehr anschaulich aus Fig. 21 hervor). Nach so einem Magnesiumzuschuss erhält z. B. das Dränagewasser von Bjurfors (Vgl. Lok. 29 mit 9,21) $1,5 \text{ mg Mg}^{2+}/\text{L}$. Dieser Gehalt ist normal für viele Wasserläufe (vergl. HOFMANN-BANG 1905) oder für die Wasserläufe Finnlands (siehe VIRO 1953, S. 13). Im Grenholmergebiet beträgt der durchschnittliche Magnesiumgehalt des Grundwassers $4,2 \text{ mg Mg}^{2+}/\text{L}$, und das Oberflächenwasser hat einen Mittelwert von $1,3 \text{ mg Mg}^{2+}/\text{L}$. Wir erhalten also im Gebiete von Grenholmen die gleichen Gehalte im Oberflächenwasser wie im Gebiete von Bjurfors. Das Sickerwasser (Lysimeterversuche) hat in Bjurfors $2,33 \text{ mg Mg}^{2+}/\text{L}$, d. h. einen fast fünfmal höheren Gehalt als das bewegliche Grundwasser. O. TAMM (1921, S. 121) hat keine Anreicherung von Magnesium in der Orterde gefunden. Die entgegengesetzte Ansicht wird von LUTZ & CHANDLER (1946, S. 358) verfochten. Nach meinen Untersuchungen zu urteilen, wird das Magnesium nach einer ganz kurzen Strecke fixiert (siehe Tab. 2 Kap. IV: 3). Diese Fixierung beruht aber wahrscheinlich auf dem Ionenaustausch mit Humusstoffen.

Calcium kommt hauptsächlich im Oligoklas, Labradorit, Anortit, Apatit und Hornblende vor, auch in einigen Gegenden in Kalkspat. Gemäss O. TAMM (1921, S. 122) scheint es, als ob das ausgelaugte Calcium, auf seinem Weg hinaus zum Meer, nicht fixiert wird. Bei den Analysen von Bjurfors erhielt das Oberflächenwasser $3,2 \text{ mg/L}$, das Sickerwasser (gepresst) $12,8 \text{ mg/L}$ und das sich äusserst langsam im ebenen Moränengebiete bewegende Grundwasser $3,0 \text{ mg/L}$. (Sämtliche Gehalte stellen Mittelwerte dar). Das bewegliche Grundwasser des Bjurforsgebietes enthält $1,5\text{--}2,0 \text{ mg Calcium per Liter}$, was bedeutet, dass dieses Wasser — nachdem es das Moränengebiet verlassen hat, aber bevor es die Wasserläufe erreicht hat — einen Calciumzuschuss bekommt. Der Calciumzuschuss entsteht wahrscheinlich — wie auch derjenige vieler anderen Grundstoffe — beim Passage der Wassersedimente in den Tälern oder in den häufig vorkommenden Sumpfböden (wo der Ca^{2+} -Gehalt des Grundwassers $5,6 \text{ mg/L}$ beträgt). Der hohe Calciumgehalt der Sickerwässer zeugt davon, dass nicht so wenige adsorbierte Ca^{2+} -Ionen in einer normal sandig-feinsandigen Moräne vorhanden sind. Im Hinblick auf die leichte Austauschbarkeit der Calciumionen, müsste das Grundwasser eigentlich höhere Calciumgehalte aufweisen als wirklich der Fall ist, wenn die Perkolierung von oben auf breiter Front der wichtigste Transportweg des Niederschlages bis zum Grundwasser wäre. Dabei kann betont werden, dass die Auslaugung von Calcium aus den Waldböden in einem erheblich kleineren Umfang stattfindet, als es die Gehalte des Grundwassers und Sickerwassers zu ergeben scheinen.

Natrium dürfte in der Hauptsache als Albit vorkommen, zusammen teils mit Kalkfeldspat und teils mit Kalifeldspat. Wie aus Tab. 38 ersichtlich ist, hat das Sickerwasser wesentlich höhere Natriumgehalte (Z. 8 mg/L) als das Grundwasser ($2,8 \text{ mg/L}$) von Bjurfors. Der hohe Gehalt des Sickerwassers ist insofern interessant, als Natrium im allgemeinen nur eine sehr schwache Tendenz hat, von den Bodenkolloiden adsorbiert zu werden. Den hohen Na^{+} -Gehalt des Sickerwassers sehe ich als Beispiel dafür an, dass der Niederschlag nicht auf breiter Front von oben durch den Boden zu dringen vermag. Wenn ein solches nenneswertes Durchsickern stattfände, sollte eine Ausgleichung der Gehalte im Sickerwasser- und Grundwasser zustande kommen, was aber gar nicht der Fall ist. Das Verhalten der Na-Ionen stimmt mit demjenigen der Chlorionen überein (siehe Kap. V).

tersuchungen von JONES (1947) ist es erwiesen, dass im Humus vorkommendes Kalium minerale. Kalium kommt aber auch in Plagioklasen und Glimmern vor. Laut gewissen Untersuchungen von JONES (1947) ist es erwiesen, dass im Humus vorkommendes Kalium recht bald ausgelaugt wird. Dagegen werden die K^+ -Ionen bedeutend stark von den Erdpartikeln festgehalten. Die Auslaugung aus der Humusschicht ist deswegen auch bei ganz kleinen Niederschlagsmengen ziemlich intensiv, was zur Folge hat, dass ein für Zeit stehen bleibendes Oberflächenwasser hohe Kaliumgehalte bekommen kann (siehe Fig. 11, 12, 15 u. 18).

KAP. VIII. DER WASSERFAKTOR IM WALDBODEN. KURZE ÜBERSICHT.

Eigenschaften der Grundwässer und Oberflächenwässer.

1. Die Ionenkonzentration des Grundwassers ist oft mehr durch das Geologische als durch den Bodentypus bedingt.
2. Die Tiefe der Probeentnahme wirkt wenig oder nicht auf die Zusammensetzung der Grundwasserproben ein.
3. Die Festlegung der verschiedenen Metallkationen im Boden ist in Abhängen mit beweglichem Grundwasser untersucht worden, siehe Kap. IV.
4. Vom Grundwasser wurden Proben während des ganzen Jahres entnommen. Schnee, Regen, Dürre, Bodeneis u. s. w. beeinflussen kaum die Ionenkonzentrationen. Eine gewisse Variation mit der Jahreszeit ist jedoch feststellbar.
5. Versuche haben ergeben, dass man in langen Abhängen ein Grundwasser hat, welches auf der unausgewaschenen Moräne — unterhalb der Schlemmkiesdecke — fließt. Die Zusammensetzung dieses Grundwassers unterscheidet sich wenig von nicht so beweglichem Grundwasser in normalen Böden.
6. Überrieselndes Wasser kommt auch bei verhältnismässig groben Bodenarten vor, wie z. B. oberhalb einer nicht allzu stark ausgewaschenen Moräne.
7. Im Boden stellt sich ein Ionenaustauschgleichgewicht sehr schnell ein. Dies ist auch bei Abhängen mit stark beweglichem Grundwasser (z. B. in Schlemmkiesablagerungen) der Fall.
8. In einer ebenen Fläche, ohne jeden Seitenzufuhr von Grundwasser, ist der Gehalt an Kationen konstant und stimmt mit denen der Abhängen mit stark beweglichen Grundwasser überein.
9. Kleine Versumpfungen mit hohen Ionenkonzentrationen, die in Felsvertiefungen vorkommen, beeinflussen gewöhnlich nicht die Gleichmässigkeit der Ausbildung eines Waldbestandes.
10. Bewegliches Grundwasser, welches in feinkörnige Wassersedimente hineindringt, bekommt dabei gewöhnlich hohe Kationengehalte.
11. Das Dränagewasser der offenen Gräben eines gut 400 ha grossen Gebietes des Staatforstes Bjurfors wurde chemisch analysiert. Dabei zeigte es sich, dass die Kationengehalte dieses Wassers nicht nennenswert von denen des Grundwassers abweichen.
12. Zuweilen besitzt das Oberflächenwasser charakteristische Unterschiede im Kalium- und Aluminiumgehalt. Im Oberflächenwasser ist der Kaliumgehalt klein und der Aluminiumgehalt hoch, während das Entgegengesetzte für das Grundwasser gibt. Im Übrigen sind die Unterschiede zwischen dem Oberflächenwasser und dem Grundwasser in allen untersuchten Lokalen meistens klein.
13. Wenn ein Oberflächenwasser eine längere Zeit auf der Boden stehen bleibt, erhält es, auch in Gebieten mit mineralologisch reichen Bodenarten, einen ebenso hohen Kationengehalt wie sogar das Sickerwasser.

Eigenschaften des Sickerwassers.

1. Lysimeterversuche in Bjurfors, Rösikar und Jägarhyddan haben ergeben, dass ein sehr kleiner Teil des Niederschlages auf breiter Front beim Herunterdringen im Boden das Grundwasser erreicht.
2. Die Lysimeterversuche zeigen, dass die Kationenkonzentrationen des Sickerwassers die Gehalte des Oberflächenwassers und des Grundwassers bei weitem übertreffen. Das deutet darauf an, dass nur sehr wenig Wasser von der Oberfläche auf breiter Front in den Grundwasserhorizont hineindringt.
3. Durch Studium des Sickerwassers auf dem Laboratorium vermittels Pressversuche, wurden die Resultate der Lysimeterversuche unterstützt. Das hervorgepresste Sickerwasser hat Konzentrationen, die den Kationengehalten des Sickerwassers in den Lysimetern genau entsprechen.
4. Düngungsversuche auf dem Versuchsfeld von Mölna deuten auf ein äusserst langsames Auslaugen der löslichen Stoffe im Boden hin.
5. Chlorversuche bei Rösikar ergaben, dass so ein leicht ausgelaugtes Ion, wie das des Chlors, mehrere Jahre benötigt, um bei dem Durchsickern das Grundwasser zu erreichen.
6. Das Sickerwasser, das auf breiter Front zum Grundwasser gelangt, weicht so stark in chemischer Zusammensetzung von dem Oberflächenwasser sowie von dem Grundwasser ab, dass es kaum anzunehmen ist, dass die langsame Bewegung des Sickerwassers (die Minimum-Zeit ist bestimmt worden) irgend eine nennenswerte Bedeutung für die »Ernährung« des Grundwassers besitzt. Ein viel grösserer Teil des Niederschlages fliesst wahrscheinlich verhältnismässig schnell durch Risse, Spalten u. s. w. ins Grundwasser hinein.

Die Niederschlagsinfiltration im Waldboden.

1. Mehrere Faktoren wie der Blockgehalt, die Bodenstruktur, die Topographie, der Feuchtigkeitsgehalt, die Wurzelkanäle u. s. w. bewirken einen schnellen Wassertransport im Boden. Das besagt, dass der Niederschlag viele Wege zu wählen hat, ohne benötigt zu sein auf breiter Front herunterzuperkolieren.
2. Die im Laboratorium ausgeführten Bestimmungen des Feuchtigkeitsgehaltes vieler Bodenproben zeigen, dass eine sandig-feinsandige Moräne einen Minimalgehalt von 13 Gewichtsprozenten Feuchtigkeit überschreiten muss, damit ein Perkolieren auf breiter Front zu Stande kommen kann. Feldbestimmungen haben gezeigt, dass es unmittelbar unter dem B-Horizont eine Zone gibt, deren Feuchtigkeit nicht 5 % während des ganzen Jahres übersteigt. Ein Perkolieren auf breiter Front durch dieser Bodenschicht ist somit undenkbar.
3. Um den Feuchtigkeitsgehalt von 5 % bis auf 13 % zu vergrössern, ist eine Niederschlagsmenge von 80 L pro m² erforderlich. In einer Tiefe von 3 m wäre eine Wassermenge nötig, die ebenso gross wie die ganze, jährliche Abtrinnung (250–350 mm) ist!
4. Bei grossen Niederschlagsmengen während des Sommers zeigt es sich, dass eine normale Vegetationsdecke mit *Hylocomium splendens* und *Pleurozium Schreberi* das Wasser bis zu 100 % aufzuspeichern vermag, wodurch eine Infiltration in die darunterliegende Mineralerde nicht stattfinden kann. (Vergl. LÅG & EINEVOLL, 1954).
5. Wie Wasserstandsrohre ergeben haben, geht der Transport des Niederschlages entlang der Felsoberfläche sehr schnell vor sich.

6. 100 mm Niederschlag verursachen — infolge hydrostatischen Druck — eine Erhebung des Grundwasserniveaus auf gewissen Untersuchungsstellen um mehr als 100 mm.
7. Es gibt die Felsoberflächen im Boden entlang eine starke Auslaugung. Man findet nämlich oft auf diesen Flächen eine Mineralbodenschicht, die sehr stark verwittert ist. Der Basmineralindex nach O. TAMM (1934), beträgt hier nur 6. Dunkle Minerale fehlen und die Schicht ist stark mit Humus impregniert. Oberhalb beträgt der Basmineralindex 15, was für den ganzen C-Horizont normal ist.
8. In einigen Lysimeterversuchen wurden Metalldrähte (Diameter 1 mm) in den Boden von der Oberfläche herunter eingeführt. Dadurch wurde die Durchlässigkeit der obersten Bodenschichten für Wasser auf 200 Prozente vergrößert.
9. Die Zusammenstellung der Tab. 49 zeigt, dass das Oberflächenwasser und das Grundwasser etwa gleich grosse Ionenkonzentrationen haben. Jedoch erhält das Oberflächenwasser in Kleinseen, ganz von Bebauung umgeben, sehr hohe Gehalte. Falls ein See aber nur von bewaldeten Moränenböden umgeben ist, erhält man nur niedrige Kationengehalte.
10. Viele Befunde haben also ergeben, dass eine starke Wasserbewegung auf breiter Front nicht möglich ist. Es liegt auf der Hand, dass Blockgehalt, Wurzelkanäle, Felsoberflächen, Risse, Spalten u. s. w. genügen um den Transport des Niederschlages bis zum Grundwasser zu besorgen. Tab. 47 zeigt, dass wenigstens in Mittelschweden das Abfließen aus den Felsgebieten die Felsoberflächen entlang fast ebenso grosse Wassermengen zu den Flüssen liefern als das Abfließen von den übrigen bewaldeten Flächen.

Forstliche Gesichtspunkte.

1. Die Humusdecke ist für die Wasserversorgung des Waldes von entscheidender Bedeutung, wenn die Baumwurzeln das Grundwasser nicht (der Grundwasserspiegel liegt 2 m tief oder noch mehr) erreichen.
2. Mit Steinen bedeckte Moränenböden bieten den Niederschlägen gute Möglichkeiten zur Infiltration. Solche Böden sind darum nicht selten, ja sogar oft von hoher Bonität.
3. In den jetzigen Wäldern Nordschwedens vollzieht sich die Verjüngung meistens auf grossen Kahlschlägen, die in vielen Fällen abgebrannt werden. Wo eine flechtenreiche Bodenvegetation vorkommt, geht die Selbstverjüngung sehr leicht vor sich. Die Ausbreitung einer Moosvegetation (*Hylocomium splendens* u. *Pleurozium Schreberi*) geht nach dem Abbrennen eines Kiefernbodens langsam vor sich, und wird erst in den ziemlich alten Beständen herrschend. Im Hinblick darauf, dass die Wasserversorgung während der Vegetationsperiode besonders wichtig ist, und dass die Feuchtigkeit der Humusschicht, speziell auf mächtigen Moränen oder Sanden, Kiesen u. s. w. von grosser Bedeutung ist, wäre zu wünschen, dass das Zunehmen der Moosvegetation in den Kiefernbeständen möglichst schnell vor sich gehe. Deshalb empfiehlt der Verfasser das Bleibenlassen einer nicht zu grossen Anzahl von Fichten, die mehrmals eingemischt in den Kiefernbeständen vorkommen, weil die Fichte die Ausbreitung der Moosvegetation (vergl. O. TAMM 1920, S. 244) und damit auch die Wasserversorgung begünstigt, obgleich die Holzproduktion der Fichte auf solchen Böden fast wertlos ist. Natürlich darf man nicht so vielen Fichten zulassen, dass der Zuwachs der Kiefern wegen Konkurrenz sich vermindert, und niemals darf man natürlich Fichten auf Kahlschlägen zurücklassen.
4. Weil der Niederschlag während der Vegetationsperiode so stark in der Humusschicht gebunden wird, muss die Auslaugung der verschiedenen Pflanzennährstoffe aus den oberen Schichten eines ebenen Bodens gar nicht so intensiv sein, wie man es bis jetzt geglaubt hat. Die Verlusten durch Auslaugung der obersten Schichten der Mineralerde

sind also sehr unbedeutend. Die ganze Düngungsfrage des Waldbodens in Schweden befindet sich daher von rein theoretischem Standpunkt aus in einer günstigen Lage. Der Verfasser ist der Meinung, dass es auf einigermaßen ebenen, normalen Moränenböden möglich ist, Nährstoffe zuzuführen, ohne dass im Laufe mehrerer Jahre — ja vielleicht sogar während der ganzen Umtriebszeit — die Auslaugungsverluste unbedeutend bleiben. Somit werde das Wachstum eines Bestandes dauernd begünstigt.

5. Die überrieselten resp. durchrieselten Abhänge sind wie bekannt für eine intensive Waldproduktion ausserordentlich geeignet. Das hat durch meine Untersuchungen eine neue Beleuchtung an Hand genauer Beobachtungen und Wasseranalysen erfahren. Mit Entwässerungen in solchen Abhängen muss man vorsichtig sein. Eine künstliche Dränage, die die versumpften Flecken verbessert, kann nämlich gleichzeitig die vorteilhafte Durchrieselung in anderen, sogar grösseren Gebieten verschlechtern.
6. Die sogenannten Dryopteriswälder (Kiefern — Fichten Mischwäldern mit reichlich *Dryopteris Linnæana* in der Bodenvegetation, siehe MALMSTRÖM, 1949, S. 228) die relativ hochproduktiv sind, bewachsen mehrmals Abhänge mit durchrieselten Böden. Die *Dryopteris*-vegetation ist in solchen Fällen äusserst stabil und bleibt sogar auf Kahlschlägen zurück, wo Kräuter und Gras den Boden sonst zum grossen Teil erobern.
7. In diesem Zusammenhang darf auf die Gefahr hingewiesen werden, wirkliche Torf- und Sumpfböden allzu sehr mit Gräben zu durchziehen. In Anbetracht der wichtigen Rolle die das Oberflächenabrinne und die Durchrieselung für die allgemeinen Wasserterrains spielen, stellen die Sumpfböden bedeutungsvolle Wasserreservoirs dar. Das Abrinne bis zu den Wasserläufen aus diesen Terrains, die mehrmals auch durchrieselte Böden einbegreifen, würde durch eine zu starke Drainierung so verändert werden können, dass die Produktivität jener durchrieselten Böden vermindert wird.
8. Die Einführung fremder Holzarten auf verschiedener Standorten um die Produktion zu erheben, ist in Schweden mehrmals diskutiert worden. Eine solche vorteilhafte Einführung scheint besonders möglich in Abhängen mit durchrieselten Böden, wo der Wasserfaktor nie ins Minimum sinkt und wo eine seitliche Nährstoffzufuhr immer stattfindet (vergl. T. TROEDSSON 1952).